



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERIA CIVIL – CONSTRUCCIÓN

“ELABORACIÓN DE PET-CONCRETO, BUSCANDO MEJORAR SUS PROPIEDADES
MECANICAS DE TENSION Y FLEXIÓN”

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN

TUTOR PRINCIPAL
JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. OCTUBRE 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. Mendoza Escobedo Carlos Javier

Secretario: M. I. Mendoza Rosas Marco Tulio

Vocal: Ing. Cottier Caviedes Juan Luis

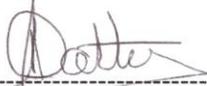
1^{er.} Suplente: M.C. Jessurun Solomou Mauricio

2^{d o.} Suplente: M. en I. Narcia Morales Carlos

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Laboratorio de materiales de la facultad de Ingeniería y bibliotecas del D.F.

TUTOR DE TESIS:

Ing. Cottier Caviedes Juan Luis



FIRMA



Mi agradecimiento a:

A Dios. Por la vida y experiencias que me ha hecho vivir, pero sobre todo; por la familia que me dio y las personas que ha puesto en mi camino.

Universidad Nacional Autónoma de México; Facultad de Ingeniería; Secretaría de Posgrado e Investigación. Por los conocimientos y preparación profesional que me brindo durante nuestra instancia, para poder obtener los conocimientos necesario y poderlos complementar con la experiencia laboral.

A mi Esposa; Gisela María Hernández Medina. Porque gracias a su apoyo y comprensión he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida; fruto de inmenso amor y confianza que en mi se depositó; con los cuales he logrado terminar mis estudios de maestría, que constituye el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual le viviré eternamente agradecido con cariño y respeto.

A mis padres; María Martha Santillán Ramírez y a Tomas Palacios Vargas. A quienes me han heredado el tesoro más valioso que pudiera darse a un hijo: amor y educación, a quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida, me han formado y educado y quienes la ilusión de su existencia ha sido verme convertido en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni con las riquezas más grandes del mundo. A los seres universalmente más queridos sinceramente... gracias.

A mi asesor Ing. Juan Luis Cottier Caviedes. Por compartir sus conocimientos y apoyo para la elaboración de este documento.

ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN



Dedicación.

A mis padres:

M. Martha Santillán Ramírez y a Tomas Palacios Vargas

A mi esposa:

Gisela María Hernández Medina.

A mis hermanos:

Israel Palacios Santillán

Alfredo Palacios Santillán

Uriel Palacios Santillán

A mis suegros:

Ma. Cristina Medina Pérez

Eduardo Agustín Hernández León

Y a todas las personas que siempre me apoyaron y creyeron en mí



SÍNTESIS.

Una de las principales problemáticas que tiene nuestro entorno es la contaminación de PET, que afecta gravemente al suelo, mantos acuíferos, mares ríos, ciudades. Cuando se quema; desprende gases nocivos contaminando al aire.

Actualmente en México solo se recicla el 10% de este contaminante.

Para combatir parte de este problema y tratar de aumentar más su uso se reciclará el PET y se utilizará como una proporción del agregado fino para la elaboración de un nuevo concreto, que deberá cumplir con las características mínimas establecidas en las Normas Mexicanas de Concreto y con la finalidad de buscar mejoras en sus propiedades mecánicas a la flexión, tensión y poderlo utilizar en la industria de la construcción.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los principales problemas en México, es la contaminación al medio ambiente por el PET (Tereftalato de Polietileno). Esto significa 844,000 toneladas anuales que equivale a 8.9 kg/persona/año.

El PET es usado para fabricar recipientes para bebidas de jugos, agua, alcohólicas, aceites comestibles, limpiadores caseros, botellas de refresco, agua, entre otros. Éste, se convierte en contaminante cuando se tira al suelo o al agua, ya que tapa coladeras y redes de drenaje, lo que provoca inundaciones afectando así a la flora y fauna. Cuando éste se quema, contamina el aire, ya que produce gases nocivos para la capa de ozono y la problemática crece cada día más llegando a una saturación de residuos sólidos. Por ello, en este proyecto se hace su conocimiento que existen dos tipos de PET flexible (agua, refrescos), rígido (botella de PET de coca cola). En este proyecto se reutilizará el PET flexible para la elaboración de un nuevo concreto, tratando que cumpla con las características normativas y mejorando sus propiedades mecánicas.

Se realizará un prototipo de un nuevo concreto (PET-concreto), compuesto por hojuelas de PET de uno por un centímetro, aproximadamente, en diferentes proporciones; sustituyéndolo por una parte de arena y mezclándolo con grava, agua, cemento, adquiriendo la misma resistencia a la compresión, mayor resistencia a la tensión y módulo de elasticidad para posteriormente utilizarlo en la industria de la construcción.

El PET-Concreto, será elaborado en base a la normatividad mexicana cumpliendo con las características mínimas de una resistencia a la compresión de 250 kg/cm^2 , con revenimiento de 10 centímetros buscando obtener un mayor módulo de ruptura (resistencia a la flexión).

Cabe mencionar que, actualmente en México, solo se recicla el 10% y el 15% a nivel mundial por lo que es un problema muy fuerte que se debe combatir.

El proyecto surge a partir de la idea de aportar una alternativa para la reducción de las botellas de plástico (PET) que son contaminantes; ya que una botella de PET tarda 500 años en degradarse, en esta investigación, se realizó una búsqueda de utilización que ayude a disminuir este contaminante beneficiando así a la población en general, tratando además de aportar al campo de la construcción un nuevo concreto con mejores características.



ÍNDICE GENERAL

	Introducción-----	3
CAPITULO 1	El plástico como problema de contaminación-----	6
	1.1 Historia del concreto-----	6
	1.2 Historia del PET-----	7
	1.3 El plástico como problema-----	8
	1.4 Tipos de plástico (PET)-----	10
CAPITULO 2	Metodología a aplicar-----	18
	2.1 Metodología-----	18
	2.2 Componentes del PET-concreto-----	19
	2.2.1 PET-concreto-----	19
	2.2.2 PET -----	20
	2.2.3 Agregados-----	21
	2.2.4 Cemento-----	21
	2.2.5 Concreto-----	22
	2.3. Pruebas a realizar-----	24
	2.4. Proceso de triturado y lavado de PET -----	25
	2.5. Programa de pruebas que deben realizarse-----	27
CAPITULO 3	Diseño de mezcla-----	28
	3.1. Pasos del diseño de mezclas ACI-----	21
	3.2. Características y materiales s de los materiales utilizados-----	34
	3.2.1 Arena-----	35
	3.2.2 Grava-----	37
	3.2.3 Cemento-----	39
	3.2.4 PET-----	39
CAPITULO 4	Pruebas y resultados de diseño de mezclas-----	39
	4.1. Resultados-----	40



4.2. Muestra 1 (concreto normal sin PET)-----	41
4.3. Muestra 2 (concreto con 50% de agregado fino y 50% de PET)-----	47
4.4. Muestra 3 (concreto con 80% de agregado fino y 20% de PET)-----	53
4.5. Muestra 4 (concreto con 90% de agregado fino y 10% de PET)-----	58
CAPITULO 5 Ventajas y desventajas-----	63
5.1. Costo entre el concreto convencional y PET concreto-----	63
5.2. Ventajas -----	64
5.5. Desventajas-----	64
Conclusiones-----	65
Bibliografía-----	66

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1.HISTORIA DEL CONCRETO

- 1758 Los morteros formados por la adición de una puzolana a una caliza con alta proporción de arcilla; eran los que mejores resultados daban frente a la acción de las aguas marinas y que la presencia de arcilla en las cales, no las perjudicaba sino que por el contrario, las mejoraba, haciendo que estas cales fraguasen bajo el agua y que una vez endurecidas fuesen insolubles en ella.
- 1817 Vicat, fue el investigador y fabricante de ésta mezcla con calizas y arcilla dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente. El sistema que realizó fue el de la vía húmeda.
- 1824 Un constructor llamado Joseph Aspdin patentó la mezcla de grava, arena y agua formando un conglomerado muy similar a las piedras de la Isla Portland, dándole el nombre de Cemento Portland.
- 1838 Brunel emplea por primera vez un cemento procedente de la fábrica de Aspdin en el que se había logrado una parcial sinterización por elección de una temperatura adecuada de cocción. Éste cemento se aplicó en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres. No obstante, el proceso de fabricación del Portland no estaba suficientemente depurado, y no se podía producir a gran escala
- 1845 Se logra conseguir temperaturas suficientemente altas para clinkerizar a la mezcla de arcilla y piedra usada como material principal.
- 1854 Primera construcción con hormigón armado donde se construyó una lancha de remos armado con alambres
- 1861 François Coignet, innovó su utilización, aplicándolo en estructuras como techos, paredes, bóvedas y tubos.
- 1866 Las empresas Freytag und Heidschuch y Martenstein, fabricaron hormigón armado y se realizaron pruebas para ver el comportamiento resistente del hormigón, asistiendo el Arquitecto Prusiano Matthias Koenen además de efectuar cálculos que fueron publicados en un folleto llamado «El sistema Monier, armazones de hierro cubiertos en cemento».
- 1894 Se publica en Francia un método que complementa Edmond Coignet y de Tédesco, agregando el concepto de elasticidad del hormigón como factor en los ensayos.

Estos cálculos fueron confirmados por otros ensayos realizados por Eberhard G. Neumann

- 1892 Fue François Hennebique quien patenta el hormigón armado
- 1900 Los cementos portland se imponen en las obras de ingeniería y cuando empieza un descenso veloz del consumo de cementos naturales. En el siguiente decenio el ascenso fue meteórico: la producción más que se dobló en cada lustro y el cemento portland sustituyó por completo al cemento natural
- 1951 Se construye el primer puente presforzado en México. Siendo la ciudad de Monterrey la madrina de tal acontecimiento, al llevarse a cabo la construcción del puente "Zaragoza" que cuenta con 5 tramos de 34 m cada uno y cuya finalidad es la de proporcionar circulación a través del río Santa Catarina.¹

1.2. HISTORIA DEL PET

- 1939-1941 El descubrimiento de polietilentereftalato (PET), fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickson. Ellos, investigaron los poliésteres termoplásticos y favorecieron la teoría que la micro cristalinidad era esencial para la formación de fibras sintéticas fuertes.
- 1955 Comenzó la producción comercial de fibra de poliéster. El PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto nivel de sofisticación basado en el espectacular crecimiento del producto a nivel mundial y la diversificación de sus posibilidades.
- 1976 Se utilizó para la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes principalmente para bebidas. Sin embargo, el PET ha tenido un desarrollo extraordinario para empaques en México.
- 1977 Aparecieron los primeros envases de PET en el mercado y desde su inicio hasta nuestros días el envase ha originado una revolución en el mercado y se ha convertido en el envase ideal para la distribución moderna.

¹ El resumen de la historia del concreto fue consultada en: <http://www.lemona.biz/EL%20CEMENTO-1/historia%20del%20CEMENTO.pdf>. Consulta 6 de junio de 2011.

2011 El polietilentereftalato se ha convertido hoy en el envase más utilizado en el mercado de las bebidas refrescantes, aguas minerales, aceite comestible, detergentes, bandejas termo formadas, envases de salsas, farmacia, cosmética, licores, etc.

Igualmente el PET tiene una gran versatilidad tecnológica y dependiendo del producto a envasar, de las condiciones del mercado (climatología, temperatura, humedad, nivel de automatización y de la calidad del envasado, condiciones de almacenamiento...) y de su diseño, permite optimizar el peso del envase y adecuarlo a las necesidades requeridas.

En la actualidad el PET ha evolucionado con la tecnología permitiendo el desarrollo en las siguientes etapas:

1. Sustitución de otros materiales y evolución del peso del envase de PET.
2. Evolución de materiales constituyentes o relacionados con el envase.
3. Impacto en la logística - distribución
4. Desarrollo de la industria y de la tecnología de Reciclado.
5. Desarrollo de mercados de usuarios de PET²

1.3. EL PLÁSTICO COMO PROBLEMA

Muchas de las ventajas de los productos plásticos se convierten en una desventaja en el momento en que desechan o bien, cuando se tiran porque se han roto.

Si bien; los plásticos podrían ser reutilizados o reciclados en su gran mayoría, lo cierto es que hoy estos desechos son un problema de difícil solución, fundamentalmente en las grandes ciudades. Es realmente una tarea costosa y compleja para los municipios encargados de la recolección y disposición final de los residuos, ya que a la cantidad de envases se le debe sumar el volumen que representan.

Por sus características, los plásticos generan problemas en la recolección, traslado y disposición final. Algunos datos nos alertan sobre esto, por ejemplo, un camión con una capacidad para transportar 12 toneladas de desechos comunes, transportará apenas 6 ó 7 toneladas de plásticos compactado y apenas 2 de plástico sin compactar.

² <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pet/historia.html>

Dentro del total de plásticos descartables que hoy van a la basura, se destaca en los últimos años el aumento sostenido de los envases de PET provenientes fundamentalmente de botellas descartables de aguas de mesa, aceites y bebidas alcohólicas y no alcohólicas. Las empresas, buscando reducir costos y amparadas en la falta de legislación, vienen sustituyendo los envases de vidrio por los de plástico retornables en un comienzo y no retornables posteriormente. Esta decisión implica un permanente cambio en la composición de la basura. Ver fotografía 1 y 2.

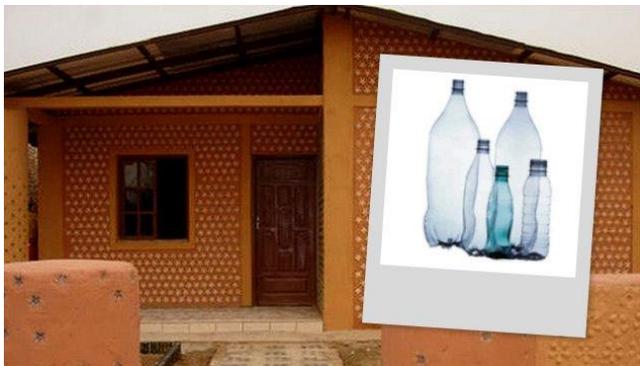


Fotografía 1: Contaminación de PET en ríos



Fotografía 2: Contaminación de gases nocivos por quemar PET

Actualmente en México; solo se recicla el 10% de PET y el 15% a nivel mundial. Este es reutilizado en productos, (ver fotografía 3 y 4); como son: ropa, juguetes, tapetes, bolsas, manualidades, láminas, floreros, casas, etc...



Fotografía 3: Construcción de casa con botellas de PET



Fotografía 4: Bolsa de PET reciclado

1.4. TIPOS DE PLASTICO (PET)

La identificación de los productos hechos en plástico, tienen un código o letras que nos indican con qué tipo de plástico están producidos. Los plásticos reciclados más comunes son usados para botellas y son de PET (Polyethylene Terephthalate).

De acuerdo con su importancia comercial por sus aplicaciones en el mercado se encuentran los productos destinado a uso comercial identificados como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: clasificación de plástico de acuerdo a su abreviatura

Nombre	Abreviatura	Número de Identificación
Polietilentereftalato	PET o PETE	1
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	2
Policloruro de vinilo o Vinilo	PVC o V	3
Polietileno de baja densidad	PEBD o LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Otros	Otros	7

(El código de Identificación es adoptado en México el 25 de Noviembre de 1999 en la NMX-E-232-SCFI-1999)

PET

El Tereftalato de Polietileno (PET), es un Poliéster Termoplástico y se produce a partir de dos compuestos principalmente: Ácido Terftálico y Etilenglicol, aunque también puede obtenerse utilizando Dimetiltereftalato en lugar de Ácido Tereftálico. Este material tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado sin forma-transparente o cristalino. El PET, en general, se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo con sus propiedades de transparencia y resistencia química de esta resina, existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y de mayor peso molecular, grado ingeniería.

Actualmente, las industrias desarrollan botellas PET para envases y se encuentran disponibles para llenado a temperaturas normales y para llenado en caliente, garrafones de 19 litros, botellas de bebidas carbonatadas, agua purificada, aceite, empaques de conservas, cosméticos, detergentes, productos químicos, productos farmacéuticos, películas, fibras para telas tejidas, cordeles, etc.

POLIESTIRENO

- El Poliestireno, es un polímero termoplástico que se obtiene a partir de la polimerización del Estireno, el cual, también se conoce con los nombres de vinilbenceno, feniletileno, estirolo ó estiroleno.

Este material ha tenido gran desarrollo en los últimos años y ha formado un grupo de plásticos denominados familia de Polímeros de Estireno, en los que se incluyen:

- Poliestireno Cristal o de Uso General (PS)
- Poliestireno Grado Impacto (PS-I)
- Poliestireno Expansible (EPS)
- Estireno/Acrilonitrilo (SAN)
- Copolímero en Bloque de Estireno/Butadieno/Estireno (SBS)
- Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS)
- Aleaciones

POLIETILENO

Antiguamente llamado "Polimetileno", el Polietileno pertenece al grupo de los polímeros termoplásticos parcialmente cristalinos del grupo de los plásticos estándar, que provienen de alquenos (hidrocarburos con dobles enlaces). Son polímeros de alto peso molecular y poco reactivos; debido a que están formados por hidrocarburos saturados, sus macromoléculas no están unidas entre sí químicamente excepto en los productos reticulados.

Los Polietilenos se clasifican principalmente en base a su densidad (de acuerdo con el código ASTM) como:

- Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)
- Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)
- Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

Si la densidad del polietileno aumenta, aumentan también propiedades como la rigidez, dureza resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia química, punto de reblandecimiento e impacto a bajas temperaturas. Sin embargo, este aumento significa una disminución en otras propiedades como el brillo, resistencia al rasgado y la elongación.³

³ plastico, c. e. (2000). *enciclopedia del plastico* . México: centro empresarial del plastico, 2000, México.

POLIPROPILENO

El Polipropileno, es un plástico que a temperaturas relativamente altas se vuelve deformable y flexible y se derrite al calentarse, es obtenido mediante polimerización del propileno o propeno, el cual, es un gas incoloro en condiciones normales de temperatura y presión que licúa a -48°C y puede utilizarse en su elaboración; por su estructura química se clasifican:

- Por Materias Primas:
 - Homopolímero
 - Copolímero Impacto
 - Copolímero Random
- Por Estructura Química:
 - Isotáctico
 - Sindiotáctico
 - Atáctico

PVC (Policloruro de Vinilo). Es un polímero termoplástico resultante de la asociación molecular del monómero Cloruro de Vinilo. Por sí solo, es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil y puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar por su consumo el segundo lugar mundial detrás del Polietileno.

El PVC puede clasificarse en cuatro maneras:

- 1) **Por su método de producción:** Suspensión, Dispersión, Masa, Solución
- 2) **Peso Molecular:** Alto, Medio y bajo
- 3) **Tipo de Monómeros:** Homopolímeros y Copolímeros
- 4) **Formulación:** Rígido y Flexible

El PVC es un material literalmente sin forma, es un material que puede adoptar los estados líquido gaseoso con porciones sindiotácticas que no constituyen más de 20% del total, generalmente cuenta con grados de cristalinidad menores. Es un polvo blanco, inodoro, insípido e inofensivo. Tiene un contenido teórico de 57% de cloro, inflamable, no arde por sí mismo. La estructura de la partícula a veces es similar a la de una bola de algodón. Es usado para fabricarse en segmentos rígidos (Tubería, Botellas de aceites comestibles, shampoos y agua purificada, película, lámina, Perfiles) en segmentos flexibles (calzado, película, recubrimiento de cable, alambre, perfiles, loseta).

DATOS TECNICOS

El PET es apropiado para elementos de roce y accesorios textiles. Para bujes, posee buena resistencia al desgaste (\geq PA). Para engranajes, bajo coeficiente de fricción, posee buena estabilidad dimensional y resistencia mecánica ($>$ POM).

A continuación se muestran en las tablas 2, 3, 4 y 5 las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas del PET.

Tabla 2 propiedades mecánicas del PET

PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	D-638	53455	900 / --
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	D-790	53452	1450
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm ²	D-256	53453	> 50
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	85 - 87
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894		--
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		0.20
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

Tabla 3 propiedades Químicas del PET

PROPIEDADES QUIMICAS	OBSERVACIONES
RESISTENCIA A HIDROCARBUROS	BUENA
RESISTENCIA A ACIDOS DEBILES A TEMP. AMBIENTE	BUENA
RESISTENCIA A ALCALIS DEBILES A TEMP. AMBIENTE	BUENA
RESISTENCIA A PROD. QUIMICOS DEFINIDOS	CONSULTAR
EFFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	ALGO LO AFECTAN
APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS	SI
COMPORTAMIENTO A LA COMBUSTION	ARDE CON MEDIANA DIFICULTAD
PROPAGACION DE LLAMA	MANTIENE LA LLAMA
COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO	GOTEA
COLOR DE LA LLAMA	AMARILLO ANARANJADO TIZNADO
OLOR AL QUEMARLO	AROMATICO DULCE

Tabla 4 Propiedades Térmicas del PET.

PROPIEDADES TERMICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CALOR ESPECIFICO	Kcal/Kg.°C	C-351		0.25
TEMP. DE FLEXION B/CARGA (18.5Kg/cm ²)	°C	D-648	53461	75
TEMP. DE USO CONTINUO EN AIRE	°C			-20 a 110
TEMP. DE FUSION	°C			255
COEF. DE DILATACION LINEAL DE 23 A 100°C	por °C	D-696	52752	0.00008
COEF. DE CONDUCCION TERMICA	Kcal/m.h.°C	C-177	52612	0.25

Tabla 5 Propiedades eléctricas del PET.

PROPIEDADES ELECTRICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CONSTANTE DIELECTRICA A 60 HZ		D-150	53483	3,4
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 KHZ		D-150	53483	3,3
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 MHZ		D-150	53483	3,2
ABSORCION DE HUMEDAD AL AIRE	%	D-570	53472	0,25
RESISTENCIA SUPERFICIAL	Ohm	D-257	53482	> 10 a la 14
RESISTENCIA VOLUMETRICA	Ohms-cm	D-257	53482	> 10 a la 15
RIGIDEZ DIELECTRICA	Kv/mm	D-149		22

Los valores arriba indicados son de referencia. Pueden utilizarse como orientación para el diseño, pero se deja a criterio del usuario la necesidad de validar esos valores en función del uso que se dará al producto final⁴

Una clasificación más clara de los diferentes tipos de plástico y sus usos se muestra a continuación en la tabla 6.

4 J.Q. Pagina de internet: <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm>, Diciembre , 2011.

Tabla 6 (muestra los diferentes clases de plástico así como sus características y usos)⁵

Código de Identificación del Plástico	Nombre del plástico	Descripción	Algunos usos del plástico virgen	Algunos usos del plástico hecho partir de desecho reciclado de plástico
	Polyethylene Terephthalate PET (Polietileno Tereftalato)	Resistente y claro, puede ser utilizado como fibra.	Refrescos y botellas de agua mineral, llenado de las bolsas de dormir y almohadas, las fibras textiles.	Botellas de refrescos, botellas de detergente, película para embalaje, fibras para alfombras y chaquetas "peludas".
	High Density Polyethylene HDPE (Polietileno de Alto Densidad PEAD)	Plástico muy común, generalmente blanco o coloreado.	Bolsas de mandados ruidosas, bolsas de freezer, botellas de leche y crema, botellas de shampoo.	Botellas de detergentes, cajas, contenedores de residuos, tubos para agricultura, pallets, cajas de reciclaje.
	Unplasticised Polyvinyl Chloride UPVC (Policloruro de Vinilo)	Plástico duro y rígido, puede ser claro (transparente)	Botellas de jugo, empaques de blíster, caños y ajustes de plomería.	Botellas de detergente, baldosas, caños para sanitaria.
	Plasticised Polyvinyl Chloride PPVC	Plástico flexible, transparente y elástico.	Mangueras de jardín, suelas de zapatos, bolsas y tubos para sangre.	Suelos industriales, nervios de mangueras.
	Low Density Polyethylene LDPE (Polietileno de Baja Densidad PEBD)	Plástico suave y flexible.	Tapas de contenedores de elados, bolas para papeleras, papeleras, hojas de plástico negro.	Films para la construcción, la industria, el packing, bolsas.
	Polypropylene PP (Polipropileno)	Plástico duro pero flexible. Muchos usos.	Contenedores de helados, bolsas de papas fritas, pajitas para bebidas, cajas de comidas con bisagras.	Bolsas para recolección de residuos.
	Polystyrene PS (Poliestireno)	Rígido, quebradizo. Puede ser claro, vidrioso (vítreo).	Contenedores de yogurt, cubertería de plástico, imitación de cristal (glassware). Copas de bebidas, contenedores para llevar comida, bandejas, packaging.	Palillos para la ropa, ganchos para la ropa, accesorios de oficina, carretes para hilos, reglas, cajas de CD/video
	Expanded Polystyrene EPS (Poliestireno expandido)	Espumado: liviano, absorbe energía, aislación térmica.		
	Incluye a todos los otros plásticos, incluidos acrílico y nylon. No pueden ser reciclados.			

Los criterios de identificación del PET están de acuerdo con las tablas 7 y 8:

⁵Angel Varea; tabla de diferentes tipos de plásticos; así como sus características y usos. México, 26 de Mayo, 2010
En <http://es.scribd.com/doc/31963928/identificacion-de-plasticos>.

Tabla 7 (muestra los criterios de identificación del PET)

Color	Transparente, translúcido, opaco, brillante, mate...
Aspecto	Flexible, semirígido, rígido
Corte	Puede romperse, puede cortarse con un cuchillo
Densidad	Flota en el agua, no flota
Reactividad química	Ensayo con una gota de ácido, una base, una cetona...
Calor	Cerca de una llama: ¿se reblandece? ¿termoendurecible? ¿termoestable?
Ensayo a la llama	¿quema? ¿produce olor? ¿sale humo?

Tabla 8 (muestra cómo se identifica un plástico)

POLIETILENO (PE):
Muy estable, flexible, se puede teñir: bolsas, botellas, aislantes
- Translúcido.
- Flexible, semirígido
- Se puede cortar, no se rompe
- Ácidos y bases no le atacan
- Disolventes no le atacan
- Baja densidad
- Termoplástico
Ensayo a la llama: Brillante, amarilla/azul, forma de gota, olor a cera.

Los diferentes tipos de plástico se pueden identificar de acuerdo con la familia a que pertenecen, como: poliolefina, estirenico, vinílico, poliéster, ingeniería, hule termoplástico, termo fijo.

Las características de cada uno de los plásticos de estas familias se muestran a continuación en la tabla 9.

Tabla 9 Identificación de plásticos⁶

FAMILIA	ACRONIMO	PROPIEDADES MECANICAS	PROPIEDADES OPTICAS	COMBUSTIBILIDAD	DURACIÓN DE LLAMA	ALTERACION DE LA MUESTRA	COLOR DE HUMO	COLOR DE FLAMA	DENSIDAD	OLOR DE LOS VALORES
POLIOLEFINA	PEAD	B	E	G	J	K	O	P	0.95	Parafina
	PEBD	A	E	G	J	K	O	P	0.92	Parafina
	PEBOL	A	D	G	J	K	O	P	0.92	Parafina
	PP	B	E	G	J	K	O	P	0.90	Parafina
	EVA	A	E	G	J	K	O	P	0.94	Vinagre
ESTIRENICO	PS	C	D	G	J	L	N	Q	1.05	Ligeramente dulce
	PS-1	B	E	G	J	L	N	Q	1.03	Humo de llanta
	EPS	C	F	G	J	L	N	Q	0.02	Humo de llanta
	SB	A	D	G	J	L	N	Q	1.02	Humo de llanta
	SAN	C	D	G	J	L	N	Q	1.07	Ligeramente picante
	ABS	B	F	G	J	L	N	Q	1.07	Humo de llanta
	ASA	B	F	G	J	L	N	Q	1.07	Humo de llanta
VINILICO	PVC-R	B	D	G	I	L	N	Q	1.34	Picante del HCI
	PVC-F	A	D	G	I	L	N	Q	1.25	Picante del HCI
POLIESTER	PET	B	D	H	J	K	O	Q	1.37	Fragante
	PBT	B	F	G	J	K	N	Q	1.31	Irritante
	PC	B	D	H	I	L	O	Q	1.20	Irritante
INGENIERÍA	PMMA	C	D	G	J	K	O	Q	1.19	Solvente
	PA	B	E	H	I	K	O	P	1.14	Cabello quemado
	POM	B	E	G	J	K	O	P	1.41	Picante
HULE TERMOPLASTICO	TIPO	A	F	G	J	K	N	Q	0.99	Humo de llanta
	TPU	A	E	G	J	K	O	Q	1.26	Aceite de almendras
TERMOFIJO	PUR-R	C	F	G	J	M	N	Q	0.36	Irritante
	PUR-F	A	F	G	J	M	O	Q	0.36	Aceite de almendras
	MF	C	F	H	I	M	O	Q	1.64	Pescado
	EP	C	D	H	I	M	N	Q	1.23	Picante o fenol
	UP	C	D	G	J	M	N	Q	1.71	Humo de auto
	SI	A	F	H	I	M	O	Q	1.41	Solvente ligero
	PF	C	F	H	I	M	N	Q	1.49	Irritante moderado verde

Simbología de tabla 9

A	Flexible	E	Traslucido	I	Auto extinguable	M	Carboniza	Q	Flama amarilla
B	Semirígido	F	Opaco	J	Continua ardiendo	N	Humos negros con hollín		
C	Rígido	G	Fácil de incendiar	K	Funde y gotea	O	Humos blancos		
D	Transparente	H	Difícil de incendiar	L	funde	P	Flama azul		

⁶ Ibidem, Pág. 4

En la tabla 10 se muestra otra forma de clasificación de los distintos materiales plásticos en función de su comportamiento frente a la solubilidad con la acetona (ensayo químico).

Tabla 10 características de los materiales plasticos en función del comportamiento con la acetona⁷

Material	PEAD	PEBA	PP	PVC	PS	PA-6	POM	PET	PC	RF
Solubilidad en acetona	no	no	no	sí (muy lento)	sí	no	no	no	sí	sí
Hinchamiento	sí	sí	no	sí	--	no	no	no	sí	no

⁷ Op.cit Pág. 9

CAPITULO 2. METODOLOGÍA A APLICAR

2.1. METODOLOGÍA

Se realizarán mediante los siguientes pasos:

1. Se busca la obtención del PET triturado en hojuelas de 1cm x 1 cm aproximadamente
2. Se procede a lavar las botellas de PET
3. Ya triturado, se procede a vaciarlo en tinas de agua para desprender las etiquetas; las cuales por peso volumétrico quedan en la parte de arriba lo que permite retirarlas.
4. Se tomará el PET triturado flexible como parte de agregado fino, para la elaboración de un nuevo concreto "PET-Concreto" en las proporciones indicadas en la tabla 11:

Tabla 11 proporciones de PET en los concreto a realizar

HOJUELAS DE PET	ARENA
0%	100%
50%	50%
20%	80%
10%	90%

5. Se realizará el diseño de mezcla para un concreto para una resistencia a compresión de 250 kg/cm^2 y 10 cm de revenimiento, donde la arena se sustituirá en las proporciones que se indican en la tabla 11 y al concreto producido se le realizaran las siguientes pruebas:
 - Revenimiento
 - Masa unitaria
 - Contenido de aire
 - Resistencia a la compresión
 - Resistencia a la flexión
 - Resistencia a la tensión indirecta
6. Una vez realizadas las pruebas y haber obtenido los resultados de acuerdo con los lineamientos mínimos de las pruebas descritas, se podrán dar las características y propiedades físicas y, mecánicas, de acuerdo con los resultados obtenidos.

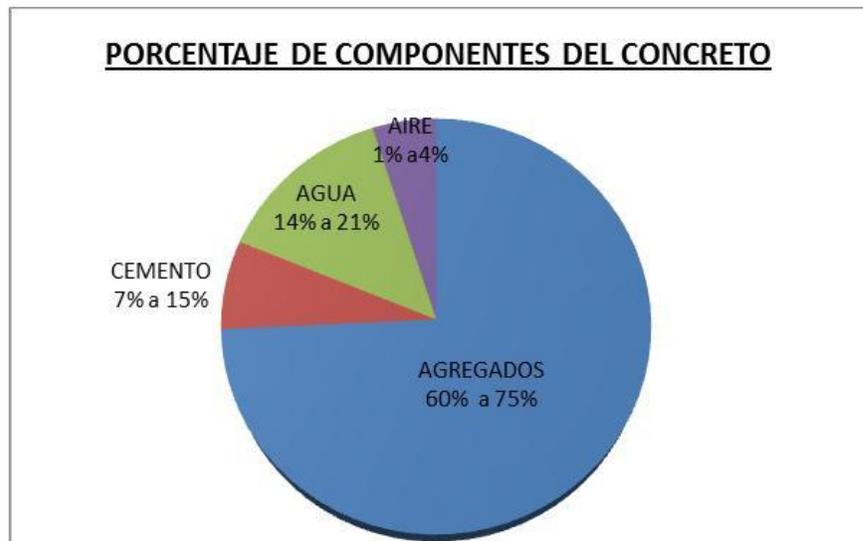
2. COMPONENTES DE PET-CONCRETO

2.2.1 PET-CONCRETO

El PET-concreto es un concreto especial que además de sus componentes de pasta (cemento- agua) y agregados (arena y grava), se le incluye PET triturado en forma de hojuelas, el contenido de hojuelas de PET varía dependiendo de la resistencia a alcanzar este concreto, debe

tener igual ó mejor resistencia a la compresión, así como mayor resistencia a la flexión que un concreto convencional.

Los agregado ocupan entre el 60% - 75% de volumen, el cemento del 7 - 15%, el agua del 14 - 21%, el aire entre 1 - 8%. Ver gráfica 1.



Grafica 1. Porcentaje de componentes en un concreto

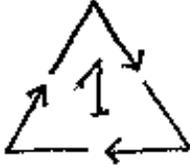
Es importante destacar, que en esta investigación; será un enfoque práctico de tecnología de la construcción Autosustentable. En ella, se realizarán diferentes pruebas. Se reciclara el PET convirtiéndolo en hojuelas de PET y se transformará en un nuevo producto de construcción al convertirlo en componente del concreto para su reutilización y con esto bajar el nivel de contaminación del suelo, agua, aire y así; realizar un producto nuevo a menor costo con las características principales de un concreto convencional.

2.2.2. PET

El PET (Polietileno Tereftalato), es un material fuerte, de peso ligero, de poliéster claro. Sus características son: alta rigidez y dureza, o altísima resistencia a los esfuerzos permanentes, superficie barnizable, gran indeformabilidad al calor, muy buenas características eléctricas y dieléctricas, alta resistencia a los agentes químicos y estabilidad a la intemperie o alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad, que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras; además, dispone de un bajo coeficiente de fricción y de una elevada estabilidad dimensional. La temperatura de uso continuo se encuentra entre -40 °C y aprox. +110 °C. Ver tabla 12

Si bien existen más de cien tipos de plásticos, los más comunes son sólo seis; pero nos abocaremos en esta investigación solo a uno. Las características diferentes de los plásticos exigen generalmente un reciclaje por separado.⁸

Tabla 12. Características, usos y aplicaciones de PET

TIPO/NOMBRE	CARACTERISTICAS	USOS/APLICACIONES
 <p style="text-align: center;">PET</p> <p>Polietileno Tereftalato</p>	<p>Se produce a partir del Ácido Tereftálico y Etilenglicol, por poli condensación; existiendo dos tipos: grado textil y grado botella. Para el grado botella se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos.</p>	<p>Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios (mayonesa, salsas, etc.). Películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), envases al vacío, bolsas para horno, bandejas para microondas, cintas de video y audio, geotextiles (pavimentación /caminos); películas radiográficas.</p>

2.2.3. AGREGADOS

Los elementos agregados son la grava, arena y el PET; cuyo papel fundamental es formar el “esqueleto” del concreto, ocupando gran parte del volumen del producto final, con lo cual se pretende disminuir notablemente los efectos de la reacción química del fraguado, la elevación de temperatura y la contracción de la lechada al endurecerse, de acuerdo con la granulometría de los agregados y con la resistencia final deseada.

Se realizarán tres probetas de concreto con $f'c=250\text{kg/cm}^2$, sustituyendo una parte de PET triturado por una proporción de arena (mencionada en el capítulo 2). Conforme a las Normas Mexicanas del Concreto; logrando que cumplan con las especificaciones de cada una de ellas.

En esta investigación se tendrá que comprobar que la mezcla de PET en hojuelas sustituido por un porcentaje de arena en el concreto, obtiene la misma o mejor resistencia a la compresión y cumple con las características físicas, químicas y mecánicas que tiene el concreto convencional.

2.2.4. CEMENTO

El cemento.- es un material finamente pulverizado formado por clinker y yeso. El clinker ésta formada por piedra caliza+ Óxido de Hierro+ Sílice.

De acuerdo a la **NORMA NMX-C-414-ONNCE 2004**, el cemento tiene los siguientes componentes mostrados en la tabla 13:

Cy C.V. El plastico y su historia, Industriales. Fabricación. Tipos. Polímeros. Aplicaciones. Reciclaje y reúso. Tereftalato, Repu. Dominicana, Salamanca, 1998

Tabla 13 componentes del cemento

Tipo	Denominación	C o m p o n e n t e s (% en masa)					
		Principales					Minoritarios ⁽¹⁾
		Clinker Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolánicos ⁽²⁾	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	95 - 100	---	---	---	---	0 - 5
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico	50 - 94	---	6 - 50	---	---	0 - 5
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno	40 - 94	6 - 60	-	---	---	0 - 5
CPC	Cemento Pórtland Compuesto ⁽³⁾	50 - 94	6 - 35	6 - 35	1 - 10	6 - 35	0 - 5
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	90 - 99	---	---	1 - 10	---	0 - 5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20 - 39	61 - 80	---	---	---	0 - 5

2.2.5 CONCRETO

Concreto: Es la mezcla compuesta por dos componentes principales, que constan de una pasta (agua-cemento) y agregados (arena y grava) más aditivo, este último puede ser opcional. Así mismo, la calidad del concreto dependerá de la calidad de la pasta (relación agua-cemento, mientras menor agua tenga la pasta mayor será su resistencia) y de la calidad de los agregados. Su principal característica es la alta resistencia a la compresión. Los elementos que componen el concreto se dividen en dos grupos: activos e inertes.

Los elementos activos son el agua y el cemento, a cuya cuenta corre la reacción química por medio de la cual esa mezcla llamada lechada, pasta o matriz se endurece-fragua- hasta alcanzar un estado en general de gran solidez.

Los elementos inertes (agregados), son la grava y la arena cuyo papel fundamental es formar el “esqueleto” del concreto, ocupando gran parte del volumen del producto final con lo que se logra abaratarlo y disminuir notablemente los efectos de la reacción química del fraguado, la elevación de temperatura y la contracción de la lechada al endurecerse de acuerdo con la granulometría de los agregados y con la resistencia final deseada.

Los siguientes valores en por ciento de volumen dan una idea aproximada de un concreto común.

CONCRETO CON AIRE INCLUIDO

Agregado grueso del 31 al 51%
Agregado fino del 24 al 28%
Aire del 4 al 8%
Agua del 14 al 18%
Cemento del 7 al 15%

CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO

Agregado grueso del 31 al 51%
Agregado fino del 25 al 30%
Aire del 1 al 3%
Agua del 16 al 21%
Cemento del 7 al 15%

El agua, Cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor puede usarse como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para preparar el concreto. Sin embargo, también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables. La Tabla 4-2 presenta las normas que tratan específicamente de la calidad del agua para empleo en morteros y concretos.

Se puede emplear agua de dudosa calidad en concreto, pero se debe verificar su desempeño. Se aconseja que los cubos de mortero (ASTM C 109 o AASHTO T 106) preparados con el agua dudosa, tengan a los 7 días resistencia igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Además, se debe garantizar a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento. Las normas ASTM C 94 (AASHTO M 157) y AASHTO T 26 presentan criterios de aceptación para el agua que será usada en el concreto (Tablas 4-3 y 4-4).

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencia del concreto, también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. Algunas impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado y aun afectar la durabilidad y otras propiedades.⁹

Tabla 4-2. Normas de la Calidad del Agua para Empleo en Morteros y Concretos

País	Norma	Nombre de la norma
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y hormigones de cemento portland
Chile	NCh1498.Of1982	Hormigón - Agua de amasado – Requisitos
Colombia	NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración de concreto
EE.UU.	ASTM C 94	Standard specification for ready mixed concrete
Perú	NTP 339.088-1982	Hormigón (concreto). Agua para morteros y hormigones de cementos portland. Requisitos
México	NMX-C-122-82	Agua para concreto
Venezuela	CONVENIN 2385:2000	Concreto y mortero. Agua de mezcla. Requisitos

⁹ Op.cit. Kosmatka Steven H, Kerkhoff Beatrix, Panarese William C., y Tanesi Jussara, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association, EE.UU., Primera Edición, 2004, Pag. 95-96

Tabla 4-3. Criterios de Aceptación para Abastecimiento de Aguas Dudosas (ASTM C 94 o AASHTO M 157)

	Limites	Método de ensayo
Resistencia a compresión, porcentaje mínima en relación al control, a los siete días	90	C 109* o T 106
Tiempo de fraguado, diferencia en relación al control, hr:min	Del 1:00 más temprano a 1:30 más tarde	C 191* o T 131

* La comparación debe estar basada en proporciones fijas, así como en el mismo volumen de agua de ensayo comparado con una mezcla de control preparada con agua de la ciudad o agua destilada.

Tabla 4-4. Límites Químicos para Aguas de Lavado Usadas con Agua de Mezcla (ASTM C 94 o AASHTO M 157)

Sustancia química o tipo de construcción	Concentración máxima en ppm*	Método de ensayo**
Cloruro, como Cl		ASTM D 512
Concreto pretensado (presfuerzo, presforzado, precomprimido) o concreto para tablero de puentes	500†	
Otros tipos de concreto reforzado (armado) en ambiente húmedo o conteniendo elementos de aluminio o metales distintos inseridos o cimbras permanentes de metal galvanizado	1,000†	
Sulfato, como SO ₄	3,000	ASTM D 516
Álcalis, como (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)	600	
Total de sólidos	50,000	AASHTO T 26

* El agua de lavado usada como agua para el preparo del concreto puede exceder a los límites de concentraciones de cloruros y sulfatos presentados si se puede mostrar que las concentraciones totales calculadas en el agua de mezcla, incluyendo agua de mezcla en los agregados y otras fuentes, no excedan a los límites establecidos.

** Se puede usar otros métodos de ensayos que han enseñado resultados semejantes.

† Para las condiciones que permitan el uso de aditivos aceleradores a base de CaCl₂, los compradores pueden ignorar los límites de cloruros.

2.3. PRUEBAS A REALIZAR

Se diseñará un concreto común para un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y un revenimiento de 10 centímetros; donde se realizaran 4 probetas sustituyendo una proporción de arena por PET triturado de acuerdo con la tabla 10 con las combinaciones mostradas en la tabla 14, realizando ensayos a compresión a 7, 14 y 28 días y ensayos a la flexión con molde prismáticos de 15 x 15 x 60 centímetros y ensayos a la tensión, buscando mejorar estas características.

TABLA 14 Sustitución de arena por PET para elaboración de PET-Concreto

PROBETA	CEMENTO	GRAVA	AGUA	PET	ARENA
1	100%	100%	100%	0%	100%
2	100%	100%	100%	50%	50%
3	100%	100%	100%	20%	80%
4	100%	100%	100%	10%	90%

Las pruebas que se realizarán al PET-concreto de acuerdo con las normas mencionadas adelante de cada prueba son las siguientes:

- Revenimiento. (NMX-C-156-1997-ONNCCE), (NMX-C-162-ONNCCE-2000),
- Masa Unitaria (NMX-C-162-ONNCCE-2000), moldes(NMX-C-281-1985),
- Contenido de aire (NMX-C-157-1987), (NMX-C-158-1987), (NMX-C-162-ONNCCE-2000),
- Resistencia a la compresión (NMX-C-083-ONNCCE-2002),
- Cabeceo (NMX-C-109-ONNCCE-2004), (NMX-C-219-1984), (NMX-C-159-ONNCCE-2004),
- Prueba a la flexión (NMX-C-191-ONNCCE-2004), (NMX-C-303-1986),
- Prueba a la tensión. (NMX-C-163-1997-ONNCCE).

2.4. PROCESO DE TRITURADO Y LAVADO DE PET

Proceso de Triturado y selección de PET flexible de acuerdo con la figura 1

1. Se recolectan las botellas de PET;
2. Pasan por el proceso de lavado de PET y selección de PET flexible (no botellas de coca por ser PET rígido);
3. Posteriormente pasan por la máquina trituradora de PET;
4. Sale el PET triturado;
5. Se empaqueta en costales.



Figura 1 (proceso de lavado y selección de PET)

Proceso de lavado de PET ver figura 2

1. Se coloca el PET triturado en una tina o pileta;
2. Se le vierte agua;
3. Se agita el agua, para que las etiquetas floten;
4. Se recogen con una coladera todas las etiquetas;
5. Se repite el paso 4 y 5 hasta que no hayan etiquetas o basura;

6. Se procede a secar el PET triturado.



Figura 2 (muestra el procedimiento de lavado de PET triturado)

CAPITULO 3. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla o dosificación.

El proceso para determinar las características requeridas del concreto y sus especificaciones, se llama diseño de mezcla y puede llevar al desarrollo de los requerimientos del concreto. Las características pueden incluir:

1. Propiedades del concreto fresco.
2. Propiedades mecánicas del concreto endurecido.
3. La inclusión.
4. Exclusión o límites de ingredientes específicos.

El proporcionamiento de la mezcla, se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales para que se logren las características especificadas. Un concreto adecuadamente proporcionado, debe presentar las siguientes cualidades:

- Trabajabilidad aceptable del concreto fresco
- Durabilidad del concreto endurecido
- Resistencia del concreto endurecido
- Apariencia uniforme del concreto endurecido
- Economía

Elección de las características de la mezcla

Antes que se pueda determinar las proporciones de la mezcla, se seleccionan sus características considerándose el uso que se propone dar al concreto, las condiciones de exposición, tamaño y forma de los elementos y las propiedades físicas del concreto (tales como resistencia a la congelación y resistencia mecánica), requeridas para la estructura. Las características deben reflejar las necesidades de la estructura, por ejemplo, se debe verificar la resistencia a los iones cloruros y se deben especificar los métodos de ensayos apropiados.¹⁰

Existen numerosos factores que afectan las propiedades del concreto, ya sea en estado fresco o endurecido. En este trabajo, se describen brevemente sólo aquellos que se relacionan con el diseño de las mezclas del concreto, en este caso, PET-concreto, donde se emplea hojuelas de PET, grava, arena, cemento, aditivos y agua.

Los métodos actuales de diseño de mezclas, contemplan valores límite respecto de un conjunto de propiedades que deben cumplirse, éstas usualmente son:

¹⁰Ividen. Kosmatka Steven H, Kerkhoff Beatrix, Panarese William C., y Tanesi Jussara, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association, EE.UU., Primera Edición, 2004, Pag. 185

- La relación agua/cemento,
- El contenido mínimo de cemento,
- La resistencia a la compresión mínima,
- El tamaño máximo del agregado,
- La trabajabilidad mínima, el módulo de finura de la arena,
- La granulometría de los agregados y;
- El contenido de aire.

Es indudable que en nuestro medio, las dos propiedades más significativas al diseñar mezclas de concreto normal son la resistencia a la compresión y su trabajabilidad, aunque debe reconocerse que en los últimos años se ha prestado mucha atención a la durabilidad.

La consistencia forma parte de la trabajabilidad y se define a grandes rasgos como la capacidad de colocación de la mezcla de concreto en la que se involucran propiedades de cohesión y viscosidad, se mide en términos de revenimiento (cuanto más elevado es el revenimiento más fácil de colocar es la mezcla). En el método del ACI, el revenimiento es un dato que sirve de base para diseñar las mezclas de concreto, mientras que en el de mínimo contenido de vacíos, es una referencia para mejorar la mezcla de prueba en caso de que el revenimiento haya sido diferente del especificado.

Características de los materiales para un diseño de mezclas

- **Granulometría de los agregados (tamaño y distribución de las partículas):** favorece el acomodamiento de los agregados distribuidos en la masa de concreto y se relaciona con la cantidad de superficie en la interfaz con la pasta de cemento en la mezcla en estado fresco.
- **Módulo de finura de los agregados:** es la proporción de los valores de retenidos acumulados en el tamizaje hasta el tamiz 100 dividido por 100, condiciona el tipo de concreto como concreto de agregados gruesos (ciclópeo), agregados medios (normal), agregados finos, además de las condiciones superficiales y efecto terminal como concreto arquitectónico.
- **Densidades aparentes de los agregados.** Se define como el peso de las partículas de agregado más el aire entre las partículas por unidad de volumen. La densidad aparente del cemento puede variar considerablemente, dependiendo de cómo se manipula y almacena el agregado. Si el agregado está muy suelto; puede pesar sólo 830 kg/m³, mientras que cuando se consolida el agregado a través de vibración, el mismo agregado puede pesar tanto como 1650 kg/m³ (Toler 1963). Por esta razón, las buenas prácticas indican que se debe medir el agregado en masa y no en volumen.

- **Absorción de los agregados.** La absorción y la humedad superficial de los agregados se deben determinar de acuerdo con las normas NMX-C-164, NMX-C-165, NMX-C-166. Así, el agua total del concreto se puede controlar y las masas correctas de los materiales de la revoltura se pueden determinar. La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida y vacía que pueden o no contener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura 5-12 y se las puede definir como:

1. Secado al horno – totalmente absorbente
2. Secado al aire – la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
3. Saturado con superficie seca (SSS) – no absorben ni ceden agua al concreto
4. Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre).

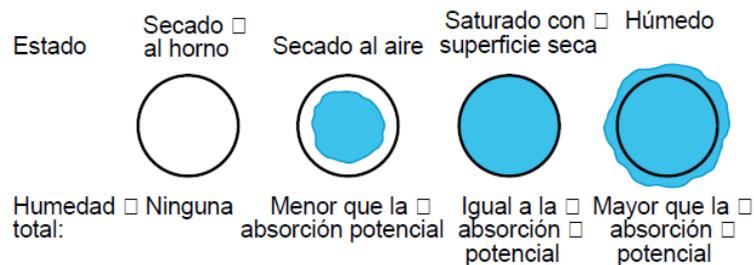


Fig. 5-12. Condiciones de humedad de los agregados.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS); que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre generalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquél del agregado fino. La mayoría de los agregados finos puede mantener un contenido máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%.

- **Masas unitarias de los agregados.** la masa unitaria de un agregado, debe ser conocida para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto y se calcula dividiendo la masa de la muestra entre su volumen
- **Humedades de los agregados.** Las humedades se convierten en el factor modificador de la relación agua / cemento (A/C) de las mezclas; se requiere determinarlas para evitar excesos de fluidez, consistencias inmanejables en las mezclas frescas y para no alterar la relación A/C.

Tipo de cemento y densidad del cemento. El tipo de cemento se selecciona según las condiciones especiales de uso al elemento constructivo que se requiere conocer su densidad para corroborar con exactitud su consumo por metro cúbico a construir.¹¹

3.1. PASOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS ACI-211

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

1. El primer paso contempla la selección del revenimiento cuando este no se especifica. El informe del ACI incluye la tabla 15 en la que se recomiendan diferentes valores de revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto, en caso contrario; dichos valores deben ser incrementados en 2.5 cm.

Construcción de Concreto	Revenimiento mm (pulg.)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

*Se puede aumentar 25 mm (1 pulg.) para los métodos de consolidación manuales, tales como varillado o picado.
Los plastificantes pueden proveer revenimientos mayores.
Adaptada del ACI 211.1.

Tabla 15 Revenimiento Recomendados para varios tipos de construcción

2. La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. El tamaño máximo del agregado grueso, no debe exceder un quinto de la menor dimensión entre los lados de las cimbras (encofrados); ni tampoco tres cuartos la distancia libre entre las varillas o cables de refuerzo individual, paquetes de varillas o tendones o ductos de presfuerzo (pretensado, presforzado, postensado). También es una buena práctica limitar el tamaño del agregado para que no supere tres cuartos del espacio libre entre el refuerzo y la cimbra. En losas sobre el terreno sin refuerzo, el tamaño máximo

¹¹Vitervo O'reilly. *Métodos para la dosificación del concreto*. Ed. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 1993. Páginas consultadas todo el metodo

del agregado no debería exceder un tercio del espesor de la losa. Se pueden usar tamaños menores cuando la disponibilidad o alguna consideración económica lo requieran, es preferible el mayor tamaño disponible siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos.

- Como tercer paso, el informe presenta la tabla 16 con los contenidos de agua recomendables en función del revenimiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido.

Tabla 16 Registros aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado Indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

** El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

- Como cuarto paso, el ACI proporciona la tabla 17 con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera; la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos. En una segunda tabla, aparecen los valores de la relación agua/cemento para casos de exposición severa.

Tabla 17 Dependencia entre la relación agua-material cementante y la resistencia a la compresión del concreto

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm. Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

- El contenido de cemento, se calcula con la cantidad de agua determinada en el paso tres y la relación agua cemento obtenida en el paso cuatro. Cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.
- Para el sexto paso del procedimiento, el ACI-211 maneja la tabla 18 con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto. Los valores, dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen de agregado se muestra en metros cúbicos con base en varillado en seco para un metro cúbico de concreto, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco.

Tabla 18 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (¾)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (½)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (¾)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

*Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.1.

7. Hasta el paso anterior, se tienen estimados todos los componentes del concreto; excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia. Para este séptimo paso, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.
8. El octavo paso, consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados. El agua que se añade a la mezcla debe reducirse o aumentarse en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir; humedad total menos absorción.
9. El último paso, se refiere a los ajustes en las mezclas, las cuales; se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el revenimiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el revenimiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto, el informe ACI 211.1-91 proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.

3.2. CARACTERISTICAS Y RESULTADOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

Para el diseño de mezclas de PET-concreto, las características de los materiales (arena, grava y pet); se obtuvieron en el laboratorio cumpliendo con los requisitos de calidad que deben tener los agregados para la producción de concreto conforme a las normas mexicanas del concreto:

- Tamaño Máximo de Agregado (NMX-C-111-ONNCCE-2004.)
- Módulo de Finura (NMX-C-111-ONNCCE-2004)
- Peso Volumétrico Seco Compactado de la grava (NMX-C-073-ONNCCE-2004)
- % Absorción grava (NMX-C-164-ONNCCE-2002)
- % Absorción arena (NMX-C-165-ONNCCE-2002)
- % de humedad grava (NMX-C-166-1990)
- % de humedad arena (NMX-C-166-1990)

Los resultados obtenidos de las pruebas de los agregados se muestran a continuación:

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA

		TRABAJO: DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO		FECHA						
MATERIAL: ARENA		ALUMNO: ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN		05-nov-11						
		DESCRIPCION:	CARACTERISTICAS DE LA ARENA							
PROCEDENCIA: TIENDA HOME DEPOT TOREO				FECHA DE PRUEBA: 05-nov-11						
RESUMEN										
DENSIDAD DE LA ARENA=		2.29	gr/cm ³							
% DE ABSORCION =		10.99%								
MODULO DE FINURA (M.F.) =		3.13								
DENSIDAD DE LA ARENA										
DENSIDAD= 0.50 kg/(418 ml-200ml (agua en probeta))										
PESO DE LA ARENA=		500	gr							
AGUA EN PROBETA=		200	ml							
AGUA EN PROBETA DESPUES DE COLOCAR ARENA=		418	ml							
DENSIDAD =		500	/	(418	-	200) =	2.294	gr/cm ³
% DE ABSORCION										
PESO DE LA ARENA (SSS)=		1.000	kg							
PESO DEL MOLDE=		1.216	kg							
PESO TOTAL=		2.216	kg							
PESO DE ARENA SECA CON MOLDE =		2.117	kg							
MENOS PESO DEL MOLDE =		1.216	kg							
PESO SECO DE LA ARENA =		0.901	kg							
CONTENIDO DE HUMEDAD=		1.000	-	0.901	=	0.099	Its			
% DE ABSORCION =		0.901	→	100%						
		0.099	→	10.99%						
MODULO DE FINURA										
MALLA	mm o μ m	PESO(kg)	%	% ENTEROS	%ACUM	OBSEVACIONES				
N°. 4	4.75	0.101	10.1%	10%	10%					
N°. 8	2.36	0.164	16.5%	16%	26%					
N°. 16	1.18	0.165	16.6%	17%	43%					
N°. 30	600	0.159	16.0%	16%	59%					
N°. 50	300	0.194	19.5%	20%	79%					
N°. 100	150	0.173	17.4%	17%	96%					
N°. 200	75									
CHAROLA		0.04	4.0%	4%	100%					
SUMAS		0.996	100.0%	100%	313%					
MODULO DE FINURA =					3.13					
OBSERVACIONES										
La arena tiene un modulo de finura es muy alto, asi mismo su modulo de absorción es muy alto tambien										

3.2.1. ARENA

A continuación se muestra de la fotografía 5 a la 12 la elaboración de las pruebas realizadas a la arena:



Fotografía 5 (muestra la saturación de la arena para posteriormente determinar el contenido de absorción y densidad)



Fotografía 6 (muestra como se está quitando la humedad para dejar saturado el material)



Fotografía 7 (muestra el procedimiento para determinar el estado SSS de la arena)



Fotografía 8 (muestra parte del procedimiento para determinar la densidad de la arena)



Fotografía 9 (muestra cómo se determinó la densidad de la arena)



Fotografía 10 (muestra el horno con la arena para determinar su grado de absorción des pues de la bese pesado en estado SSS y seco)



Fotografía 11 (muestra cuando se coloca en las mallas para determinar el módulo de finura)



Fotografía 12 (muestra el peso de la arena fina para determinar su módulo de finura)

3.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA GRAVA (ver fotografías de la 12 a la 19)

	TRABAJO: DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO		FECHA	
	ALUMNO: ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN		05-nov-11	
MATERIAL: GRAVA	DESCRIPCION:	CARACTERISTICAS DE LA GRAVA		
PROCEDENCIA: TIENDA HOME DEPOT TOREO		FECHA DE PRUEBA:	05-nov-11	
RESUMEN				
PESO VOLUMETRICO COMPACTADO (P.V.C.)=	1,350.00	kg		
DENSIDAD DE LA GRAVA=	2.78	gr/cm ³		
% DE ABSORCION =	9.77%			
TAMAÑO MAXIMO DEL AGRAGADO (TMA)=	3.81	cm		
PESO VOLUMETRICO COMPACTADO DE LA GRAVA				
P. TOTAL=	46.6	kg		
P. MOLDE=	9.195	kg		
PESO DE GRAVA=	37.405	kg		
VOLUMEN DEL MOLDE=	27.714	kg		
P.V.C. =	37.405	/	27.714	* 1000 = 1,349.68 kg
DENSIDAD DE LA GRAVA				
DENSIDAD= 1 kg/360 ml (agua desalojada)				
PESO DE LA GRAVA=	1.000	kg		
AGUA DESALOJADA=	360.000	ml		
DENSIDAD =	1.000	/	360	* 1000 = 2.778 gr/cm ³
% DE ABSORCION				
PESO DE LA GRAVA (SSS)=	1.000	kg		
PESO DEL MOLDE=	1.208	kg		
PESO TOTAL=	2.208	kg		
GRAVA HUMEDA CON MOLDE (24hrs)=	2.119	kg		
MENOS PESO DEL MOLDE =	1.208	kg		
PESO SECO DE LA GRAVA =	0.911	kg		
CONTENIDO DE HUMEDAD=	1.000	-	0.911	= 0.089 Its
% DE ABSORCION =	0.911	→	100%	
	0.089	→	9.77%	
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO =	1-1/2" =	3.81	cm	
OBSERVACIONES				
La grava con la que se realizaron las pruebas era de mala calidad ya que es un material muy lijera, su porcentaje de absorcion es muy alta y es un material mas blando.				



Fotografía 12 (Muestra la colocación en un molde de la grava seca para posteriormente determinar la densidad de la grava)



Fotografía 13 (muestra la saturación de la grava)



Fotografía 14 (muestra el procedimiento para ver la grava en estado SSS)



Fotografía 15 (Muestra el procedimiento final para determinar la densidad de la grava)



Fotografía 16 (muestra la determinación de la densidad la grava)



Fotografía 17 (muestra la colocación de la grava en el horno para determinar su porcentaje de absorción)



Fotografía 18 (muestra como se pesa la grava para determinar su grado de absorción)



Fotografía 19 (muestra la grava en las mallas para determinar su tamaño máximo de agregado)

3.2.3. CEMENTO

El cemento que se utilizó fue Tolteca, Cemex, CPC 30R de la planta de Atotonilco. Para poder adquirir la densidad del cemento tomamos la densidad que nos proporcionó el fabricante que es 2.9



CEMEX TOLTECA

- Planta Barrientos
 - CPC 30R; $\varphi=3.03$
 - CPC 40; $\varphi=3.05$
 - Mortero; $\varphi=2.80$
- Planta Tepeaca
 - CPC 30R; $\varphi=3.00$
 - CPC 40; $\varphi=3.02$
- Planta Atotonilco
 - CPC 30R; $\varphi=2.90$
 - CPC 30R B; $\varphi=3.03$

3.2.4. PET

Para poder determinar la densidad del PET realizamos lo siguiente:

1. Pesamos 200gr de PET
2. Se utiliza un picnómetro de sifón el cual contiene agua
3. Se coloca una probeta de 500cm^3 a 1000cm^3 a lado del sifón para que caiga el agua
4. Se vierte el PET en el picnómetro para que vaya sacando agua y caiga en la probeta
5. Y con el agua que saco el picnómetro se determina el volumen y de ahí la densidad.

Ver fotografía 20 y 21



Fotografía 20 (se pesan 200gr de PET para determinar posteriormente su densidad)



Fotografía 21 (procedimiento final para determinar la densidad del PET)

Una vez realizado lo anterior se pudo obtener una densidad igual a 1.39

CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

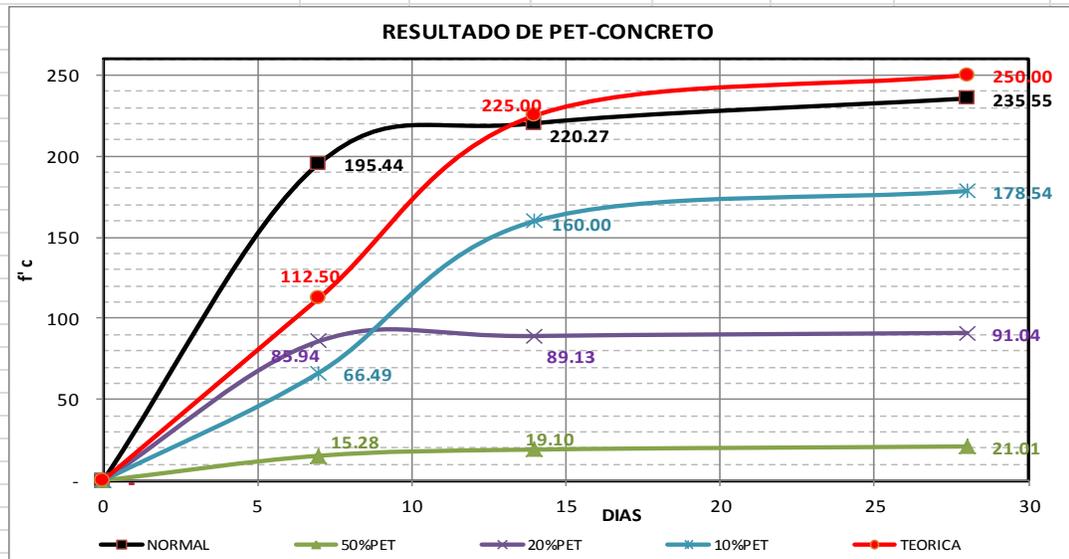
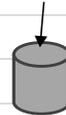
Las pruebas que se le realizaron al PET-concreto; se realizaron conforme a las normas mexicanas de concreto, correspondientes, por lo que a continuación se muestran los resultados de cada una de ellas:

4.1. RESULTADOS

	II	TRABAJO: DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO	FECHA
		ALUMNO: ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN	18-nov-11
RESUMEN	DESCRIPCION:	PET-CONCRETO	

RESUMEN DE RESULTADOS

DIAS	f'c				
	NORMAL	50%PET	20%PET	10%PET	TEORICA
0	-	-	-	-	-
7	195.44	15.28	85.94	66.49	112.50
14	220.27	19.10	89.13	160.00	225.00
28	235.55	21.01	91.04	178.54	250.00



Prueba	f'c (kg/cm ²)	Resistencia a la Tensión		MODULO DE RUPTURA		PESO ESPECIFICO kg/m ³
		kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	
Muestra normal	235.55	28.17	12%	26.04	11%	2189.97
Muestra 50% PET	21.01	4.03	19%	0.98	5%	1392.92
Muestra 20% PET	91.04	17.11	19%	18.62	20%	2038.45
Muestra 10% PET	178.54	18.22	10%	21.74	12%	2131.74

Porcentaje de resistencia entre la muestra normal y muestra de 10% PET= 76%

OBSERVACIONES

Como podemos observar se obtuvieron mejores resultados de la muestra 4 con un 10% de PET y 90% de arena, aunque no fueron los resultados esperados los cuales erande acuerdo a la hipotesis, que nos diera mayor modulo de ruptura y Tensión, para la construcción de carreteras, por lo que nos dio una resistencia a la compresión menor del 24%, por lo que se tendrían que realizar, mas pruebas y agregarle aditivos para poder aumentar estas resistencias, o bien utilizar el PET en fibras, aunque esto se encarecería aun más y no sería factible en el aspecto economico mas si en el ambiental

4.2. MUESTRA 1 (Concreto normal sin PET)

	TRABAJO: DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO	FECHA
	ALUMNO: ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN	11-nov-11
MUESTRA: 1	DESCRIPCION:	TESTIGO (CONCRETO SIN PET)

DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO

PASO 1. Se muestran los datos de diseño a los que se quieren llegar donde se considera un revenimiento de 10 cm:

DATOS		
f'c=	250	kg/cm ²
Rev.=	10	cm
Densidad cemento=	2.9	
fluidizante=	0	mm/kgcemento

PASO 2. Se selecciona el Tamaño Maximo del Agregado (T.M.A.) para este diseño se tomo de acuerdo a las características del material

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

GRAVA			ARENA		
Densidad=	2.778		Densidad=	2.294	
T.M.A.=	3.81	mm	M.F.=	3.13	
PVSCgrava=	1.350	kg/m ³	% de humedad arena=	4.19%	
% de humedad grava=	3.10%		% Absorción arena=	10.99%	1.10 lts
% Absorción grava=	9.77%	0.98 lts			

NOTA: El tamaño maximo de agregado corresponde al agregado grueso (grava) que se usara
El modulo de finura tambien corresponde al material que se usara para nuestra mezcla

PASO 3. Se determina el contenido de agua de la mezcla

De acuerdo con los siguientes datos se procede hace el diseño con ayuda de las tablas 9-5 del ACI

Tabla 9-5. (Métrica). Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

** El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

Para poder determinar la cantidad de agua necesaria se procede a ver la tabla 9-5 de cant. Agua en l/m³ con aire incluido

PASO 4. Se determina la relación agua-cemento de acuerdo a la tabla 9-3

Cantidad de agua necesaria = 181 kg/m³

Table 9-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Se procede a ver la tabla 9-3, para poder obtener la relación agua-cemento (A/C), con aire Incluido, para un f'c= 250 kg/cm².

Obtencion de la relación agua cemento (A/C)=	0.61
PASO 5. Determinación de cantidad de cemento	
Para obtener la cantidad de cemento se divide la cantidad de agua necesaria entre la relacion agua cemento.	
Cantidad de cemento =	296.72 kg/m3
PASO 6. Determinación de cantidad de agregado grueso (grava)	
Para determinar el volumen de agregado grueso por Vol. Unitario, se procede a ver la tabla 9-4 en la que se entra con el Modulo de Finura de 3.13 y el T.M.A. de 37.5mm	
Volumen de agregado total=	0.67 m3
Peso del agregado grueso=	904.50 kg/m3

Tabla 9-4. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*					INTERACCION
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.13	
9.5 (¾)	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	
12.5 (½)	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	
19.00 (¾)	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	
37.5 (1½)	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	

*Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.1.

PASO 7. Determinación de agregado fino (arena) por diferencia de pesos y volumen absoluto

TABLA 4 PESO ESTIMADO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO KG/M3

T.M.A MM	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
10	2280	2190
13	2310	2230
20	2350	2280
25	2380	2310
40	2410	2350
50	2440	2370
75	2470	2400
150	2510	2440

Para determinar el peso del concreto en estado fresco con aire incluido, el cual se usa la tabla 4 y nos da un valor de:

Peso del concreto fresco= 2410 kg/m3

Para determinar la cantidad del **agregado fino** de acuerdo al ACI se calcula por diferencia del peso del concreto fresco menos el peso de los materiales calculados

POR LO TANTO EL DISEÑO DE MEZCLA ES EL SIGUIENTE:

MATERIAL	PESO=LITROS*DENSIDAD		VOLUMEN=PESO/DENSIDAD		VOLUMEN DE MEZCLA = 0.066		
	PESO	UNIDAD	LITROS	UNIDAD	LITROS	PESO (kg)	BOTE(19lts)
Agua =	181.00	kg/m3	181.00	lts/m3	11.95	11.95	0.63
Cemento =	296.72	kg/m3	102.32	lts/m3	19.58	56.79	1.03
Agregado (grueso) =	904.50	kg/m3	325.62	lts/m3	59.70	165.83	3.14
Aire=			20.00	lts/m3	1.32		
Aditivo=							
Peso de Concreto fresco =	2410.00	kg/m3	1000	lts/m3			
Peso de Agregados =	1382.22	kg/m3	628.94	lts/m3			
Arena =	1027.78	kg/m3	371.06	lts/m3			
Arena Corregida =	851.06	kg/m3	371.06	lts/m3	56.17	128.83	2.96
PESO TOTAL DEL CONCRETO=	2233.28	kg/m3	1000.00	lts/m3	148.72	363.39	kg



PASO 8.- Ajuste de Humedades de la mezcla por humedad de los agregados

Corrección de humedad del agregado grueso (grava):

Peso de agregado grueso =	904.50	kg/m3
% de humedad grava=	3.10%	
% Absorción grava=	9.77%	

GRAVA	PESO	%	/ m3	UNIDAD	0.066 m3
El contenido de absorción es =	904.50 *	9.77%	= 88.36	lts	5.83 lts
El contenido de agua del agregado es =	904.50 *	3.10%	= 28.04	lts	1.85 lts
Agua a vaciar a la mezcla por absorción=			60.33	lts	3.98 lts

Corrección de humedad del agregado fino (arena):

Peso de agregado fino =	851.06	kg/m3
% de humedad arena=	4.19%	
% Absorción arena=	10.99%	

ARENA	PESO	%	/ m3	UNIDAD	0.066 m3
El contenido de absorción es =	851.06 *	10.99%	= 93.51	lts	6.17 lts
El contenido de agua del agregado es =	851.06 *	4.19%	= 35.66	lts	2.35 lts
Agua a vaciar a la mezcla por absorción=			57.85	lts	3.82 lts

TOTAL DE AGUA A VACIAR A LOS AGREGADOS ANTES DE HACER LA REVOLTURA DE LA MEZCLA

3.98	+	3.82	=	7.80	lts
------	---	------	---	-------------	------------

RESUMEN

MATERIAL	PESO / m3		VOLUMEN /m3		VOLUMEN DE MEZCLA =		0.066
	PESO		LITROS		LITROS	PESO (kg)	BOTE(19lts)
Agua =	181.00	kg/m3	181.00	lts/m3	11.95	11.95	0.63
Cemento =	296.72	kg/m3	102.32	lts/m3	19.58	56.79	1.03
Agregado (grueso) =	904.50	kg/m3	325.62	lts/m3	59.70	165.83	3.14
Aire=	0.00	0	20.00	lts/m3	1.32	0.00	0.00
Arena Corregida =	851.06	kg/m3	371.06	lts/m3	56.17	128.83	2.96
PESO TOTAL DEL CONCRETO=	2233.28	kg/m3	1000	lts/m3	148.72	363.39	kg
Agua por absorsion antes de revoltura =	7.80	kg/m3	7.80	lts/m3	3.82	3.82	

PASO 9.- Ajuste de mezcla de pruebas

RESULTADOS OBTENIDOS

CONTENIDO DE AIRE=	2.10%				
REVENIMIENTO =	7.5	cm		DATOS DE LABORATORIO	
PESO VOLUMETRICO FRESCO=	2355.49	kg/m3		Altura del Cilindro =	20 cm
PESO VOLUMETRICO DURO =	2189.97	kg/m3		Diametro del Cilindro =	10 cm
AREA DE CILINDRO DE 10cm ø =	78.54	cm ²		Peso concreto fresco =	3.700 kg
VOLUMEN DE CILINDRO DE 20 cm =	1570.8	cm ³		Peso concreto duro =	3.440 kg

RESISTENCIA A LA TENSION			RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (modulo de ruptura)		
$F_c \cdot T = 2P / \pi Ld$			$R = P \cdot L / bd^2$		
P=carga maxima aplicada :			P=carga maxima aplicada :		
	Carga Maxima 1 (P) =	9350 kg		Carga Maxima 1 (P) =	2500 kg
	Carga Maxima 2 (P) =	8350 kg		Carga Maxima 2 (P) =	1500 kg
	L= longitud =	20 cm		L=distancia entre apoyos=	50 cm
	d=diámetro =	10 cm		b=ancho del espécimen=	15 cm
				d=Peralte del espécimen =	16 cm

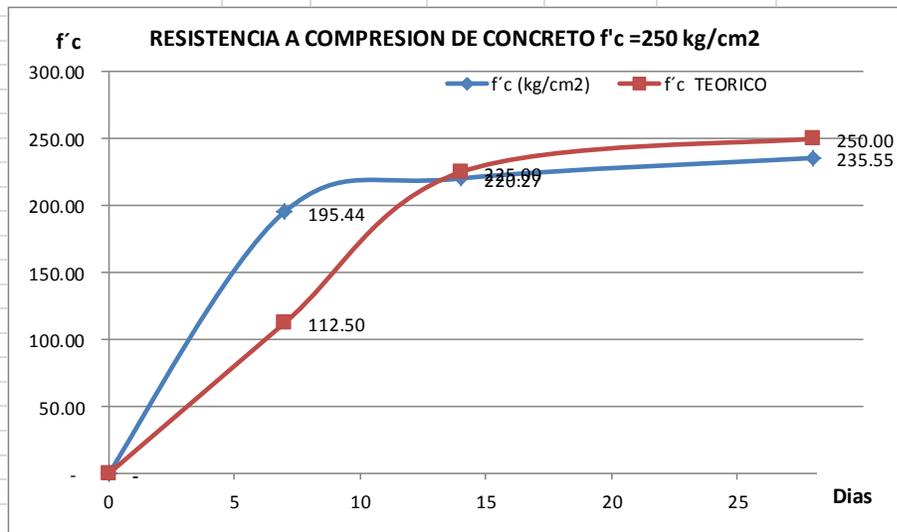
		
PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO

DIAS	ROPTURA	CARGA	f'c	f'c (kg/cm ²)	TENSION	TENSIÓN (kg/cm ²)	MR	MR (kg/cm ²)
0		0	-	-				-
		0	-	-				-
7		15200	193.53	195.44				-
		15500	197.35					-
14		18200	231.73	220.27				-
		16400	208.81					-
28		19400	247.01	235.55	29.76	28.17	32.55	26.04
		17600	224.09		26.58		19.53	

PORCENTAJE RESPECTO A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO =

12%

11%



OBSERVACIONES

La resistencia a la compresión que se obtuvo en los cilindros fue menor a la de diseño en un 5.78%, le falto cemento independientemente de los resultados del diseño de mezclas; para poder llegar a la resistencia requerida, la resistencia a la tensión fue de un 12% y el modulo de ruptura fue en un 11% los cuales estan en los parametros marcados en la norma, con un contenido de aire del 2.10%.

A continuación de la fotografía 22 a la 26 se muestra el procedimiento de elaboración del concreto:



Fotografía 22 (Muestra la realización de la mezcla)



Fotografía 23 (Muestra la realización de la prueba de revenimiento de 7.5 cm)



Fotografía 24 (Muestra la realización de las probetas que se ensayaran)



Fotografía 25 (Muestra la realización del la prueba contenido de aire al concreto)



Fotografía 26 (Muestra las probetas terminadas)



Fotografía 27 (Muestra la preparación del sílice para cabecear los cilindros para sus ensayos)

A continuación se observan en la muestra 1 los resultados obtenidos. De la fotografía 28 a la 33 lo obtenido a la compresión, de la 34 a la 35 a la flexión y de la 36 a la 37 a la tensión:



Fotografía 28 (muestra resultado a 7 días de 15200kg)



Fotografía 29(muestra resultado a 7 días de 15000kg)



Fotografía 30 (muestra resultado a 14 días de 16400kg)



Fotografía 31 (muestra resultado a 14 días de 82000kg)



Fotografía 32 (muestra resultado a 28 días de 19400kg)



Fotografía 33 (muestra resultado a 28 días de 17600kg)



Fotografía 34 (muestra resultado a 28 días de la flexión 1500kg)



Fotografía 35 (muestra resultado a 28 días de la flexión 2500kg)



Fotografía 36 (Muestra los resultados a la tensión a 28 días 9350 kg)



Fotografía 37 (Muestra los resultados a la tensión a 28 días 8350 kg)

4.3. MUESTRA 2 (Concreto con 50% de agregado fino y 50% de PET)

	TRABAJO: DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO	FECHA
	ALUMNO: ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN	16-nov-11
MUESTRA: 2	DESCRIPCION:	PET-CONCRETO 50% PET

DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO

PASO 1. Se contempla la selección de revenimiento de 10 cm

DATOS

f'c=	250	kg/cm ²
Rev.=	10	cm
Densidad cemento=	2.9	mm/kg cemento
fluidizante=	0	kg/m ³
Densidad de PET=	1.39	kg/m ³

PASO 2. Se selecciona el Tamaño Maximo del Agregado (T.M.A.) para este diseño se tomo de acuerdo a las características del material

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

GRAVA			ARENA		
Densidad=	2.778		Densidad=	2.294	
T.M.A.=	3.81	mm	M.F.=	3.13	
PVSCgrava=	1.350	kg/m ³	% de humedad arena=	2.12%	
% de humedad grava=	4.21%		% Absorción arena=	10.99%	1.10 lts.
% Absorción grava=	9.77%	0.98 lts			

NOTA: El tamaño maximo de agregado corresponde al agregado grueso (grava) que se usara
El modulo de finura tambien corresponde al material que se usara para nuestra mezcla

PASO 3. Se selecciona el tipo de concreto que se diseñara con aire o sin aire de acuerdo a la siguiente tabla

De acuerdo con los siguientes datos se procede hace el diseño con ayuda de las tablas 9-5 del ACI

Tabla 9-5. (Métrica). Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

** El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

Para poder determinar la cantidad de agua necesaria se procede a ver la tabla 9-5 de cant. Agua en l/m³ con aire incluido

PASO 4. Se calcula la relación agua-cemento de acuerdo a la tabla 9-3

Cantidad de agua necesaria = **181** kg/m³

Table 9-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Se procede a ver la tabla 9-3, para poder obtener la relación agua cemento (A/C), con aire incluido, para un f'c= 250 kg/cm².

Obtencion de la relación agua cemento (A/C)=	0.61
PASO 5. Determinación de cantidad de cemento	
Para obtener la cantidad de cemento se divide la cantidad de agua necesaria entre la relacion agua cemento.	
Cantidad de cemento =	296.72 kg/m3
PASO 6. Determinación de cantidad de agregado grueso (grava)	
Para determinar el volumen de agregado grueso por Vol. Unitario, se procede a ver la tabla 9-4 en la que se entra con el Modulo de Finura de 3.13 y el T.M.A. de 37.5mm	
Volumen de agregado total=	0.67 m3
Peso del agregado grueso=	904.50 kg/m3

Tabla 9-4. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*				INTERACCION
	2.40	2.60	2.80	3.00	
					3.13
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

*Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.1.

PASO 7. Determinación de agregado fino (arena) por diferencia de pesos y volumen absoluto

TABLA 4 PESO ESTIMADO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO KG/M3

T.M.A MM	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
10	2280	2190
13	2310	2230
20	2350	2280
25	2380	2310
40	2410	2350
50	2440	2370
75	2470	2400
150	2510	2440

Para determinar el peso del concreto en estado fresco con aire incluido, el cual se usa la tabla 4 y nos da un valor de:

Peso del concreto fresco= **2410 kg/m3**

Para determinar la cantidad de **agregado fino** de acuerdo al ACI se calcula por diferencia del peso del concreto fresco menos el peso de los materiales calculados a esta cantidad de arena se colocara la mitad y el otro **50% se sustituye por PET triturado**

POR LO TANTO EL DISEÑO DE MEZCLA ES EL SIGUIENTE PARA EL : 50% DE PET

MATERIAL	PESO=LITROS*DENSIDAD		VOLUMEN=PESO/DENSIDAD		VOLUMEN DE MEZCLA = 0.066		
	PESO	UNIDAD	LITROS	UNIDAD	LITROS	PESO (kg)	BOTE (19lts)
Agua =	181.00	kg/m3	181.00	lts/m3	11.95	11.95	0.63
Cemento =	296.72	kg/m3	102.32	lts/m3	19.58	56.79	1.03
Agregado (grueso) =	904.50	kg/m3	325.62	lts/m3	59.70	165.83	3.14
Aire=			20.00	lts/m3	1.32		
Aditivo=							
Peso de Concreto fresco =	2410.00	kg/m3	1000	lts/m3			
Peso de Agregados =	1382.22	kg/m3	628.94	lts/m3			
Arena =	1027.78	kg/m3	371.06	lts/m3			
Arena Corregida =	851.06	kg/m3	371.06	lts/m3			
Arena 50% de Volumen=	425.53	kg/m3	185.53	lts/m3	28.09	64.42	1.48
PET Triturado 50% =	257.89	kg/m3	185.53	lts/m3	17.02	23.66	0.90
PESO TOTAL DEL CONCRETO=	2065.64	kg/m3	1000.00	lts/m3	137.65	322.64	kg



PASO 8.- Ajuste de Humedades de la mezcla por humedad de los agregados

Corrección de humedad del agregado grueso (grava):

Peso de agregado grueso =	904.50	kg/m3
% de humedad grava=	4.21%	
% Absorción grava=	9.77%	

GRAVA	PESO	%	/ m3	UNIDAD	0.066 m3	
El contenido de absorción es =	904.50 *	9.77%	=	88.36	lts	5.83 lts
El contenido de agua del agregado es =	904.50 *	4.21%	=	38.08	lts	2.51 lts
Agua a vaciar a la mezcla por absorción=				50.29	lts	3.32 lts

Corrección de humedad del agregado fino (arena):

Peso de agregado fino =	851.06	kg/m3
% de humedad arena=	2.12%	
% Absorción arena=	10.99%	

ARENA	PESO	%	/ m3	UNIDAD	0.066 m3	
El contenido de absorción es =	851.06 *	10.99%	=	93.51	lts	6.17 lts
El contenido de agua del agregado es =	851.06 *	2.12%	=	18.04	lts	1.19 lts
Agua a vaciar a la mezcla por absorción=				75.47	lts	4.98 lts

TOTAL DE AGUA A VACIAR A LOS AGREGADOS ANTES DE HACER LA REVOLTURA DE LA MEZCLA

3.32 + 4.98 = **8.30 lts**

RESUMEN

MATERIAL	PESO / m3		VOLUMEN /m3		VOLUMEN DE MEZCLA =		0.066
	PESO		LITROS		LITROS	PESO (kg)	BOTE(19lts)
Agua =	181.00	kg/m3	181.00	lts/m3	11.95	11.95	0.63
Cemento =	296.72	kg/m3	102.32	lts/m3	19.58	56.79	1.03
Agregado (grueso) =	904.50	kg/m3	325.62	lts/m3	59.70	165.83	3.14
Aire=	0.00	0	20.00	lts/m3	1.32	0.00	0.00
Arena 50% de Volumen=	425.53	kg/m3	185.53	lts/m3	28.09	64.42	1.48
PET Triturado 50% =	257.89	kg/m3	185.53	lts/m3	17.02	23.66	0.90
PESO TOTAL DEL CONCRETO=	2065.64	kg/m3	1000	lts/m3	137.65	322.64	kg
Agua por absorcion antes de revoltura =	8.30	kg/m3	8.30	lts/m3	4.98	4.98	

PASO 9.- Ajuste de mezcla de pruebas

RESULTADOS OBTENIDOS

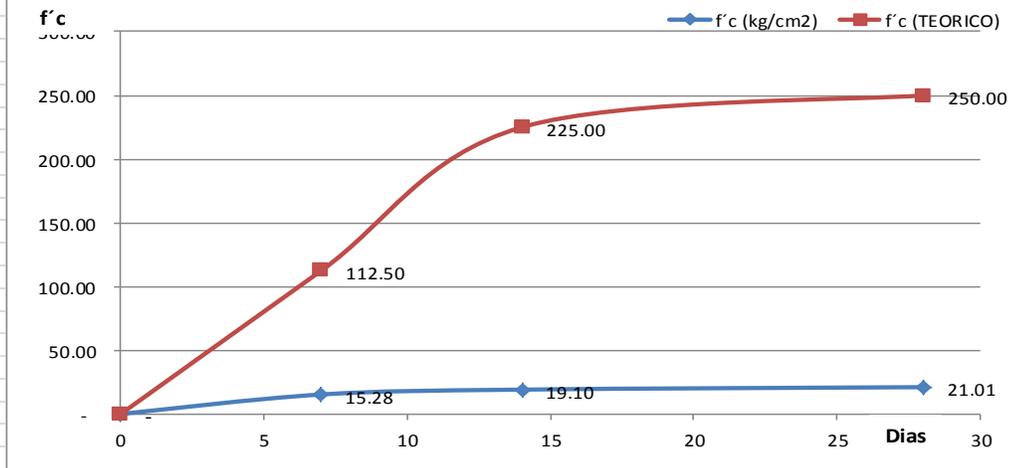
CONTENIDO DE AIRE=	3.85%				
REVENIMIENTO =	1.00	cm		DATOS DE LABORATORIO	
PESO VOLUMETRICO FRESCO=	1457.86	kg/m3		Altura del Cilindro =	20 cm
PESO VOLUMETRICO DURO =	1392.92	kg/m3		Diametro del Cilindro =	10 cm
AREA DE CILINDRO DE 10cm ø =	78.54	cm²		Peso concreto fresco =	<u>2.290</u> kg
VOLUMEN DE CILINDRO DE 20 cm =	1570.8	cm³		Peso concreto duro =	<u>2.188</u> kg

RESISTENCIA A LA TENSIÓN			RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (modulo de ruptura)		
$F_c \cdot T = 2P / \pi Ld$			$R = P \cdot L / bd^2$		
P=carga maxima aplicada :			P=carga maxima aplicada :		
	Carga Maxima 1 (P) =	1360 kg		Carga Maxima 1 (P) =	100 kg
	Carga Maxima 2 (P) =	1170 kg		Carga Maxima 2 (P) =	50 kg
	L= longitud =	20 cm		L=distancia entre apoyos=	50 cm
	d=diametro =	10 cm		b=ancho del especimen=	15 cm
				d=Peralte del especimen =	16 cm

DIAS	ROPTURA	CARGA	f'c	f'c (kg/cm ²)	TENSION	TENSIÓN (kg/cm ²)	FLEXIÓN	FLEXION (kg/cm ²)
0		0	-	-				-
		0	-	-				-
7		1200	15.28	15.28				-
		1200	15.28					
14		1200	15.28	19.10				-
		1800	22.92					
28		1400	17.83	21.01	4.33	4.03	1.30	0.98
		1900	24.19		3.72		0.65	

PORCENTAJE RESPECTO A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO = 19% 5%

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PET-CONCRETO 50%



OBSERVACIONES

El concreto en estado fresco se segrego; no se adhiere al material lo suficiente, no hay la suficiente cohesión, da un revendimiento de 1 cm y al tacto da un revendimiento de 12 cm, el contenido de aire es muy alto de 3.85%, el peso volumetrico es menor al calculado, la resistencia a la compresión fue del 91.59% menor a la diseñada, aunque en este caso nos dio una resistencia a la tensión del 19% y un modulo de ruptura del 5%, los resultados fueron menores a los esperados, por lo que se prosiguo a colocar menor cantidad de PET a la mezcla.

A continuación se observan en la muestra 2 los resultados obtenidos la fotografía 38 y 39 ilustra el aspecto de la muestra, en la fotografía 40 muestra el revenimiento obtenido de 1 cm, de la fotografía 41 a la 46 la carga obtenida a la compresión, de la 47 a la 48 a la flexión y de la 49 a la 50 a la tensión:



Fotografía 38 (muestra el aspecto de los cilindros)



Fotografía 39 (muestra el aspecto de las vigas)



Fotografía 40 (muestra el revenimiento de 1 cm obtenido)



Fotografía 41 (muestra resultado a 7 días de 1200kg)



Fotografía 42 (muestra resultado a 7 días de 1200kg)



Fotografía 43 (muestra resultado a 14 días de 1800kg)



Fotografía 44 (muestra resultado a 7 días de 1200kg)



Fotografía 45 (muestra resultado a 28 días de 1900kg)



Fotografía 46 (muestra resultado a 28 días de 1400kg)



Fotografía 47 (muestra resultado a la flexión a 28 días de 100kg)



Fotografía 48 (muestra resultado a la flexión a 28 días de 200kg)



Fotografía 49 (muestra resultado a la tensión a los 28 días de 1170kg)



Fotografía 50 (muestra resultado a la tensión a 28 días de 1360kg)

4.4. MUESTRA 3 (Concreto con 80% de agregado fino y 20% de PET)

	TRABAJO: DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO	FECHA
	ALUMNO: ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN	18-nov-11
MUESTRA: 3	DESCRIPCION:	PET-CONCRETO 20% PET

DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO

PASO 1. Se contempla la selección de revenimiento de 10 cm

DATOS

f _c =	250	kg/cm ²
Rev.=	10	cm
Densidad cemento=	2.9	
fluidizante=	0	mm/kg cemento
Densidad de PET=	1.39	kg/m ³

PASO 2. Se selecciona el Tamaño Maximo del Agregado (T.M.A.) para este diseño se tomo de acuerdo a las características del material

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

GRAVA			ARENA		
Densidad=	2.778		Densidad=	2.294	
T.M.A.=	3.81	mm	M.F.=	3.13	
PVSCgrava=	1.350	kg/m ³	% de humedad arena=	6.95%	
% de humedad grava=	5.59%		% Absorción arena=	10.99%	1.10 lts
% Absorción grava=	9.77%	0.98 lts			

NOTA: El tamaño maximo de agregado corresponde al agregado grueso (grava) que se usara
El modulo de finura tambien corresponde al material que se usara para nuestra mezcla

PASO 3. Se selecciona el tipo de concreto que se diseñara con aire o sin aire de acuerdo a la siguiente tabla

De acuerdo con los siguientes datos se procede hace el diseño con ayuda de las tablas 9-5 del ACI

Tabla 9-5. (Métrica). Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.
** El revenimiento (asentamiento) del concreto (conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.
† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.
Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

Para poder determinar la cantidad de agua necesaria se procede a ver la tabla 9-5 de cant. Agua en l/m³ con aire incluido

PASO 4. Se calcula la relación agua-cemento de acuerdo a la tabla 9-3

Cantidad de agua necesaria = **181** kg/m³

Table 9-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm.
Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Se procede a ver la tabla 9-3, para poder obtener la relación agua cemento (A/C), con aire incluido, para un f_c = 250 kg/cm².

Obtencion de la relación agua cemento (A/C)=	0.61
PASO 5. Determinación de cantidad de cemento	
Para obtener la cantidad de cemento se divide la cantidad de agua necesaria entre la relacion agua cemento.	
Cantidad de cemento =	296.72 kg/m3
PASO 6. Determinación de cantidad de agregado grueso (grava)	
Para determinar el volumen de agregado grueso por Vol. Unitario, se procede a ver la tabla 9-4 en la que se entra con el Modulo de Finura de 3.13 y el T.M.A. de 37.5mm	
Volumen de agregado total=	0.67 m3
Peso del agregado grueso=	904.50 kg/m3

Tabla 9-4. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*				INTERACCION
	2.40	2.60	2.80	3.00	
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

*Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.1.

PASO 7. Determinación de agregado fino (arena) por diferencia de pesos y volumen absoluto

TABLA 4 PESO ESTIMADO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO KG/M3

T.M.A MM	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
10	2280	2190
13	2310	2230
20	2350	2280
25	2380	2310
40	2410	2350
50	2440	2370
75	2470	2400
150	2510	2440

Para determinar el peso del concreto en estado fresco con aire incluido, el cual se usa la tabla 4 y nos da un valor de:

Peso del concreto fresco= 2410 kg/m3

Para determinar la cantidad del **agregado fino** de acuerdo al ACI se calcula por diferencia del peso del concreto fresco menos el peso de los materiales calculados a esta cantidad de **arena se pondra el 80%** y el otro **20% se sustituye por PET triturado**

POR LO TANTO EL DISEÑO DE MEZCLA ES EL SIGUIENTE PARA EL :

20% DE PET

MATERIAL	PESO=LITROS*DENSIDAD		VOLUMEN=PESO/DENSIDAD		VOLUMEN DE MEZCLA = 0.066		
	PESO	UNIDAD	LITROS	UNIDAD	LITROS	PESO (kg)	BOTE (19lts)
Agua =	181.00	kg/m3	181.00	lts/m3	11.95	11.95	0.63
Cemento =	296.72	kg/m3	102.32	lts/m3	19.58	56.79	1.03
Agregado (grueso) =	904.50	kg/m3	325.62	lts/m3	59.70	165.83	3.14
Aire=			20.00	lts/m3	1.32		
Aditivo=							
Peso de Concreto fresco =	2410.00	kg/m3	1000	lts/m3			
Peso de Agregados =	1382.22	kg/m3	628.94	lts/m3			
Arena =	1027.78	kg/m3	371.06	lts/m3			
Arena Corregida =	851.06	kg/m3	371.06	lts/m3			
Arena 80% de Volumen=	680.85	kg/m3	296.85	lts/m3	44.94	103.06	2.37
PET Triturado 20% =	103.16	kg/m3	74.21	lts/m3	6.81	9.46	0.36
PESO TOTAL DEL CONCRETO=	2166.22	kg/m3	1000.00	lts/m3	144.29	347.09	kg

PASO 8.- Ajuste de Humedades de la mezcla por humedad de los agregados

Corrección de humedad del agregado grueso (grava):

Peso de agregado grueso =	904.50	kg/m3
% de humedad grava=	5.59%	
% Absorción grava=	9.77%	

GRAVA	PESO	%	/ m3	UNIDAD	0.066 m3
El contenido de absorción es =	904.50 *	9.77%	= 88.36	lts	5.83 lts
El contenido de agua del agregado es =	904.50 *	5.59%	= 50.56	lts	3.34 lts
Agua a vaciar a la mezcla por absorción=			37.80	lts	2.50 lts

Corrección de humedad del agregado fino (arena):

Peso de agregado fino =	851.06	kg/m3
% de humedad arena=	6.95%	
% Absorción arena=	10.99%	

ARENA	PESO	%	/ m3	UNIDAD	0.066 m3
El contenido de absorción es =	851.06 *	10.99%	= 93.51	lts	6.17 lts
El contenido de agua del agregado es =	851.06 *	6.95%	= 59.15	lts	3.90 lts
Agua a vaciar a la mezcla por absorción=			34.36	lts	2.27 lts

TOTAL DE AGUA A VACIAR A LOS AGREGADOS ANTES DE HACER LA REVOLTURA DE LA MEZCLA

2.50 + 2.27 = 4.76 lts

RESUMEN

MATERIAL	PESO / m3		VOLUMEN /m3		VOLUMEN DE MEZCLA =		0.066
	PESO		LITROS		LITROS	PESO (kg)	BOTE(19lts)
Agua =	181.00	kg/m3	181.00	lts/m3	11.95	11.95	0.63
Cemento =	296.72	kg/m3	102.32	lts/m3	19.58	56.79	1.03
Agregado (grueso) =	904.50	kg/m3	325.62	lts/m3	59.70	165.83	3.14
Aire=	0.00	0	20.00	lts/m3	1.32	0.00	0.00
Arena 80% de Volumen=	680.85	kg/m3	296.85	lts/m3	44.94	103.06	2.37
PET Triturado 20% =	103.16	kg/m3	74.21	lts/m3	6.81	9.46	0.36
PESO TOTAL DEL CONCRETO=	2166.22	kg/m3	1000	lts/m3	144.29	347.09	kg
Agua por absorcion antes de revoltura =	4.76	kg/m3	4.76	lts/m3	2.27	2.27	

PASO 9.- Ajuste de mezcla de pruebas

RESULTADOS OBTENIDOS

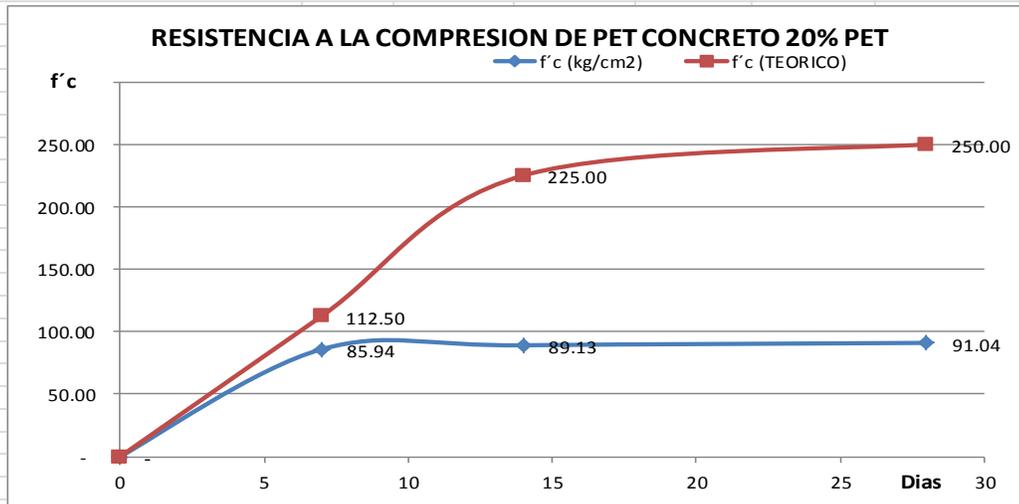
CONTENIDO DE AIRE=	3.40%				
REVENIMIENTO =	1.0	cm		DATOS DE LABORATORIO	
PESO VOLUMETRICO FRESCO=	2191.88	kg/m ³		Altura del Cilindro =	20 cm
PESO VOLUMETRICO DURO =	2038.45	kg/m ³		Diametro del Cilindro =	10 cm
AREA DE CILINDRO DE 10cm ø =	78.54	cm ²		Peso concreto fresco =	3.443 kg
VOLUMEN DE CILINDRO DE 20 cm =	1570.8	cm ³		Peso concreto duro =	3.202 kg

RESISTENCIA A LA TENSIÓN			RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (modulo de ruptura)		
$F_c \cdot T = 2P / \pi Ld$			$R = P \cdot L / bd^2$		
P=carga maxima aplicada :			P=carga maxima aplicada :		
	Carga Maxima 1 (P) =	5500 kg		Carga Maxima 1 (P) =	1260 kg
	Carga Maxima 2 (P) =	5250 kg		Carga Maxima 2 (P) =	1600 kg
	L= longitud =	20 cm		L=distancia entre apoyos=	50 cm
	d=diametro =	10 cm		b=ancho del especimen=	15 cm
				d=Peralte del especimen =	16 cm

PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO

DIAS	ROPTURA	CARGA	f'c	f'c (kg/cm ²)	TENSION	TENSIÓN (kg/cm ²)	FLEXIÓN	FLEXION (kg/cm ²)
0		0	-	-				-
		0	-	-				-
7		6400	81.49	85.94				-
		7100	90.40					-
14		7200	91.67	89.13				-
		6800	86.58					-
28		6000	76.39	91.04	17.51	17.11	16.41	18.62
		8300	105.68		16.71		20.83	

PORCENTAJE RESPECTO A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO = 19% 20%



OBSERVACIONES

El concreto en estado fresco se segrego; hubo mayor adherencia a muestra 2, le faltan finos, no hay la suficiente cohesión, da un revendimiento de 2.5 cm, el contenido de aire es muy alto de 3.40%, el peso volumetrico es menor, la resistencia a la compresión fue del 63.58% menor a la diseñada, aunque en este caso nos dio una resistencia a la tensión del 19% y un modulo de ruptura del 20%, el resultado de MR fue mayor aunque la resistencia no fue la deseada, se prosiguió a colocar menor cantidad de PET a la mezcla y mayor cantidad de finos.

A continuación se observan en la muestra 3 los resultados obtenidos. De la fotografía 51 a la 56 muestra la carga obtenida a la compresión, de la 57 a la 58 a la flexión y la 59 a la tensión:



Fotografía 51 (muestra resultado a 7 días de 6400kg)



Fotografía 52 (muestra resultado a 7 días de 7100kg)



Fotografía 53 (muestra resultado a 14 días de 7200kg)



Fotografía 54 (muestra resultado a 14 días de 6800kg)



Fotografía 55 (muestra resultado a 28 días de 6000kg)



Fotografía 56 (muestra resultado a 28 días de 8300kg)



Fotografía 57 (muestra resultado a la flexión a 28días de 1600kg)



Fotografía 58 (muestra resultado a la flexión a 28días de 1260kg)



Fotografía 59 (muestra resultado a la tensión a 28días de 5250kg)

4.5. MUESTRA 4 (Concreto con 90% de agregado fino y 10% de PET)

	TRABAJO: DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO	FECHA
	ALUMNO: ARMANDO PALACIOS SANTILLÁN	18-nov-11
MUESTRA: 4	DESCRIPCION:	PET-CONCRETO 10% PET

DISEÑO DE MEZCLA DE PET-CONCRETO

PASO 1. Se contempla la selección de revenimiento de 10 cm

DATOS

f'c=	250	kg/cm ²
Rev.=	10	cm
Densidad cemento=	2.9	mm/kg cemento
fluidizante=	0	mm/kg cemento
Densidad de PET=	1.39	kg/m ³

PASO 2. Se selecciona el Tamaño Maximo del Agregado (T.M.A) para este diseño se tomo de acuerdo a las características del material

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

GRAVA			ARENA		
Densidad=	2.778		Densidad=	2.294	
T.M.A=	3.81	mm	M.F=	3.13	
PVSCgrava=	1.350	kg/m ³	% de humedad arena=	6.95%	
% de humedad grava=	5.59%		% Absorción arena=	10.99%	1.10 Its
% Absorción grava=	9.77%	0.98 Its			

NOTA: El tamaño maximo de agregado corresponde al agregado grueso (grava) que se usara
El modulo de finura tambien corresponde al material que se usara para nuestra mezcla

PASO 3. Se selecciona el tipo de concreto que se diseñara con aire o sin aire de acuerdo a la siguiente tabla

De acuerdo con los siguientes datos se procede hace el diseño con ayuda de las tablas 9-5 del ACI

Tabla 9-5. (Métrica). Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

** El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

Para poder determinar la cantidad de agua necesaria se procede a ver la tabla 9-5 de cant. Agua en lt/m³ con aire incluido

PASO 4. Se calcula la relación agua-cemento de acuerdo a la tabla 9-3

Cantidad de agua necesaria = **181** kg/m³

Table 9-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Se procede a ver la tabla 9-3, para poder obtener la relación agua cemento (A/C), con aire incluido, para un f'c= 250 kg/cm².

Obtencion de la relación agua cemento (A/C)=	0.61
PASO 5. Determinación de cantidad de cemento	
Para obtener la cantidad de cemento se divide la cantidad de agua necesaria entre la relacion agua cemento.	
Cantidad de cemento =	296.72 kg/m3
PASO 6. Determinación de cantidad de agregado grueso (grava)	
Para determinar el volumen de agregado grueso por Vol. Unitario, se procede a ver la tabla 9-4 en la que se entra con el Modulo de Finura de 3.13 y el T.M.A. de 37.5mm	
Volumen de agregado total=	0.67 m3
Peso del agregado grueso=	904.50 kg/m3

Tabla 9-4. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*				INTERACCION
	2.40	2.60	2.80	3.00	
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

*Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.1.

PASO 7. Determinación de agregado fino (arena) por diferencia de pesos y volumen absoluto

TABLA 4 PESO ESTIMADO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO KG/M3

T.M.A MM	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
10	2280	2190
13	2310	2230
20	2350	2280
25	2380	2310
40	2410	2350
50	2440	2370
75	2470	2400
150	2510	2440

Para determinar el peso del concreto en estado fresco con aire incluido, el cual se usa la tabla 4 y nos da un valor de:

Peso del concreto fresco= **2410 kg/m3**

Para determinar la cantidad del **agregado fino** de acuerdo al ACI se calcula por diferencia del peso del concreto fresco menos el peso de los materiales calculados a esta cantidad de **arena se pondra el 90%** y el otro **10% se sustituye por PET triturado**

MATERIAL	PESO=LITROS*DENSIDAD		VOLUMEN=PESO/DENSIDAD		VOLUMEN DE MEZCLA = 0.055		
	PESO	UNIDAD	LITROS	UNIDAD	LITROS	PESO (kg)	BOTE(19lts)
Agua =	181.00	kg/m3	181.00	lts/m3	9.96	9.96	0.52
Cemento =	296.72	kg/m3	102.32	lts/m3	16.32	47.33	0.86
Agregado (grueso) =	904.50	kg/m3	325.62	lts/m3	49.75	138.19	2.62
Aire=			20.00	lts/m3	1.10		
Aditivo=							
Peso de Concreto fresco =	2410.00	kg/m3	1000	lts/m3			
Peso de Agregados =	1382.22	kg/m3	628.94	lts/m3			
Arena =	1027.78	kg/m3	371.06	lts/m3			
Arena Corregida =	851.06	kg/m3	371.06	lts/m3			
Arena 90% de Volumen=	765.96	kg/m3	333.96	lts/m3	42.13	96.62	2.22
PET Triturado 10% =	51.58	kg/m3	37.11	lts/m3	2.84	3.94	0.15
PESO TOTAL DEL CONCRETO=	2199.75	kg/m3	1000.00	lts/m3	122.09	296.04	kg



PASO 8.- Ajuste de Humedades de la mezcla por humedad de los agregados

Corrección de humedad del agregado grueso (grava):

Peso de agregado grueso =	904.50	kg/m ³
% de humedad grava=	5.59%	
% Absorción grava=	9.77%	

GRAVA	PESO	%	/ m ³	UNIDAD	0.055 m ³
El contenido de absorción es =	904.50 *	9.77%	= 88.36	lts	4.86 lts
El contenido de agua del agregado es =	904.50 *	5.59%	= 50.56	lts	2.78 lts
Agua a vaciar a la mezcla por absorción=			37.80	lts	2.08 lts

Corrección de humedad del agregado fino (arena):

Peso de agregado fino =	851.06	kg/m ³
% de humedad arena=	6.95%	
% Absorción arena=	10.99%	

ARENA	PESO	%	/ m ³	UNIDAD	0.055 m ³
El contenido de absorción es =	851.06 *	10.99%	= 93.51	lts	5.14 lts
El contenido de agua del agregado es =	851.06 *	6.95%	= 59.15	lts	3.25 lts
Agua a vaciar a la mezcla por absorción=			34.36	lts	1.89 lts

TOTAL DE AGUA A VACIAR A LOS AGREGADOS ANTES DE HACER LA REVOLTURA DE LA MEZCLA

2.08 + 1.89 = **3.97 lts**

RESUMEN

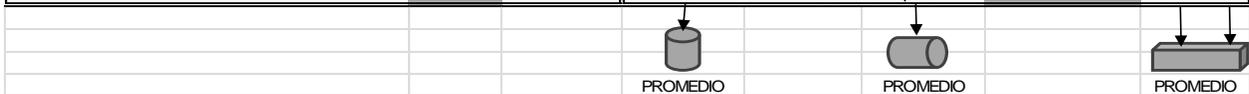
MATERIAL	PESO / m ³		VOLUMEN /m ³		VOLUMEN DE MEZCLA =		0.055
	PESO		LITROS		LITROS	PESO (kg)	BOTE(19lts)
Agua =	181.00	kg/m ³	181.00	lts/m ³	9.96	9.96	0.52
Cemento =	296.72	kg/m ³	102.32	lts/m ³	16.32	47.33	0.86
Agregado (grueso) =	904.50	kg/m ³	325.62	lts/m ³	49.75	138.19	2.62
Aire=	0.00	0	20.00	lts/m ³	1.10	0.00	0.00
Arena 90% de Volumen=	765.96	kg/m ³	333.96	lts/m ³	42.13	96.62	2.22
PET Triturado 10% =	51.58	kg/m ³	37.11	lts/m ³	2.84	3.94	0.15
PESO TOTAL DEL CONCRETO=	2199.75	kg/m³	1000	lts/m³	122.09	296.04	kg
Agua por absorcion antes de revoltura =	3.97	kg/m ³	3.97	lts/m ³	1.89	1.89	

PASO 9.- Ajuste de mezcla de pruebas

RESULTADOS OBTENIDOS

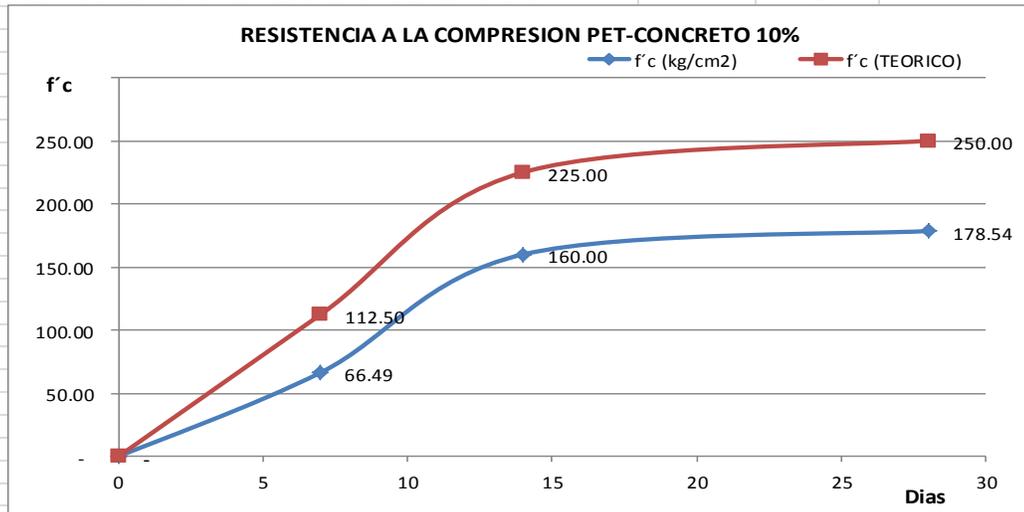
CONTENIDO DE AIRE=	2.60%				
REVENIMIENTO =	2.5	cm		DATOS DE LABORATORIO	
PESO VOLUMETRICO FRESCO=	2200.72	kg/m3		Altura del Cilindro =	30 cm
PESO VOLUMETRICO DURO =	2131.74	kg/m3		Diametro del Cilindro =	15 cm
AREA DE CILINDRO DE 15cm ø =	176.715	cm²		Peso concreto fresco =	11.667 kg
VOLUMEN DE CILINDRO DE 30 cm =	5301.45	cm3		Peso concreto duro =	11.301 kg

RESISTENCIA A LA TENSION			RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (modulo de ruptura)		
$F_c \cdot T = 2P / \pi Ld$			$R = P \cdot L / bd^2$		
P=carga maxima aplicada :			P=carga maxima aplicada :		
	Carga Maxima 1 (P) =	5700 kg		Carga Maxima 1 (P) =	1640 kg
	Carga Maxima 2 (P) =	5750 kg		Carga Maxima 2 (P) =	1700 kg
	L= longitud =	20 cm		L=distancia entre apoyos=	50 cm
	d=diametro =	10 cm		b=ancho del especimen=	15 cm
				d=Peralte del especimen =	16 cm



DIAS	ROPTURA	CARGA	f'c	f'c (kg/cm ²)	TENSION	TENSIÓN (kg/cm ²)	FLEXIÓN	FLEXION (kg/cm ²)
0		0	-	-				-
		0	-	-				-
7		23500	132.98	66.49				-
		0	-					
14		0	-	160.00				-
		0	-					
28		32300	182.78	178.54	18.14	18.22	21.35	21.74
		30800	174.29		18.30		22.14	

PORCENTAJE RESPECTO A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO = 10% 12%



OBSERVACIONES

El concreto en estado fresco se segrego; hubo mayor adherencia, le faltan finos, ya hubo cohesión, da un revendimiento de 2.5 cm, el contenido de aire es muy alto de 2.60%, el peso volumetrico es menor, la resistencia a la compresión fue del 28.58% menor a la diseñada, aunque en este caso nos dio una resistencia a la tensión del 10% y un modulo de ruptura del 12%, los resultados estan dentro del parametro establecido, aunque no fueron los esperados.

A continuación se observan en la muestra 4 los resultados obtenidos. De la fotografía 60 a la 62 muestra la carga obtenida a la compresión, de la 63 a la 64 a la flexión y de la 65 a la 66 a la tensión:



Fotografía 60 (muestra resultado a la compresión a 7 días de 2350kg)



Fotografía 61 (muestra resultado a la compresión a 28 días de 32300kg)



Fotografía 62 (muestra resultado a la compresión a 28 días de 30800kg)



Fotografía 63 (muestra resultado a la flexión a 28 días de 1700kg)



Fotografía 64 (muestra resultado a la flexión a 28 días de 1640kg)



Fotografía 65 (muestra resultado a la tensión a 28 días de 5700kg)



Fotografía 66 (muestra resultado a la tensión a 28 días de 5750kg)

CAPITULO 5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

5.1. COSTO ENTRE UN CONCRETO CONVENCIONAL Y PET CONCRETO

Considerando los datos del diseño de mezclas para un concreto con los materiales de las características mencionadas en el diseño de mezclas, el costo de 1m^3 de concreto $f'c= 250\text{kg}/\text{cm}^2$ a marzo del 2014 es el siguiente:

Material	1m^3		C.D. de Material	Importe - m^3	C.I. 28%	Subtotal	IVA	Total
Arena	0.37106	m3	\$ 202.65	\$ 75.20	\$ 21.05	\$ 96.25	\$ 15.40	\$ 111.65
Grava	0.32562	m3	\$ 202.65	\$ 65.99	\$ 18.48	\$ 84.46	\$ 13.51	\$ 97.98
Cemento	0.29672	ton	\$ 2,320.00	\$ 688.39	\$ 192.75	\$ 881.14	\$ 140.98	\$ 1,022.12
Agua	0.181	m3	\$ 45.34	\$ 8.21	\$ 2.30	\$ 10.50	\$ 1.68	\$ 12.19
Herramienta y equipo	1	m3	\$ 32.00	\$ 32.00	\$ 8.96	\$ 40.96	\$ 6.55	\$ 47.51
Mano de Obra	1	m3	\$ 510.00	\$ 510.00	\$ 142.80	\$ 652.80	\$ 104.45	\$ 757.25
Total=				\$ 1,379.78	\$ 386.34	\$1,766.12	\$ 282.58	\$ 2,048.70

El costo de 1m^3 de PET-concreto con un $f'c=250\text{kg}/\text{cm}^2$, 90% de arena y 10% de PET es el siguiente:

Material	1m^3		C.D. de Material	Importe - m^3	C.I. 28%	Subtotal	IVA	Total
Arena	0.33396	m3	\$ 202.65	\$ 67.68	\$ 18.95	\$ 86.63	\$ 13.86	\$ 100.49
Grava	0.32562	m3	\$ 202.65	\$ 65.99	\$ 18.48	\$ 84.46	\$ 13.51	\$ 97.98
Cemento	0.29672	ton	\$ 2,320.00	\$ 688.39	\$ 192.75	\$ 881.14	\$ 140.98	\$ 1,022.12
Agua	0.181	m3	\$ 45.34	\$ 8.21	\$ 2.30	\$ 10.50	\$ 1.68	\$ 12.19
PET triturado	51.58	kg	\$ 12.08	\$ 623.09	\$ 174.46	\$ 797.55	\$ 127.61	\$ 925.16
Herramienta y equipo	1	m3	\$ 32.00	\$ 32.00	\$ 8.96	\$ 40.96	\$ 6.55	\$ 47.51
M.O	1	m3	\$ 510.00	\$ 510.00	\$ 142.80	\$ 652.80	\$ 104.45	\$ 757.25
Total=				\$ 1,995.35	\$ 558.70	\$2,554.04	\$ 408.65	\$ 2,962.69

Comparando los resultados anteriores, tenemos una diferencia de \$ 913.99; que da un 44.61% más caro el PET-concreto que el concreto convencional. Esto sin mencionar que el PET-concreto de esas características da 26% menor resistencia que el normal.

5.2 VENTAJAS

1. Contribuye a que reduzca la contaminación del PET convirtiéndolo en un agregado del concreto.
2. El peso del concreto es más ligero que varía desde los 1392.92 kg/m^3 a 2131.74 kg/m^3 .
3. Cuando se utiliza mayor cantidad de PET triturado, da mayor resistencia a la flexión pero menor resistencia a la compresión.
4. Por su baja resistencia, se podría utilizar en banquetas, parques, etc...

5.3 DESVENTAJAS:

1. Para lavar el PET triturado, se desperdicia bastante agua.
2. En caso que se realice PET-concreto, su costo se incrementa hasta 44.61% del de un concreto convencional, debido al alto precio que tiene el PET triturado.
3. Utilizaría mayor cantidad de cemento para llegar a la resistencia requerida.
4. No hay adherencia entre el PET triturado y el concreto, al menos que se utilice un aditivo.
5. Cuando se utiliza mayor cantidad de PET triturado, da mayor resistencia a la flexión; pero menor resistencia a la compresión.
6. Para cualquier revenimiento que se diseñó, siempre dará de 1 a 2 cm y al tocar el concreto se desploma. Ver foto 67 y 68.



Fotografía 67 da de la 2 cm de revenimiento con cualquier mezcla que se le agregó PET



Fotografía 68 al tocar cualquier mezcla que se le agregó PET baja el revenimiento a 12 a 10

CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que no es viable el uso de PET como componente del concreto.
- Las mezclas dosificadas con PET registraron baja resistencia debido a la falta de adherencia, esto obliga a diseñar con mayor consumo de cemento aumentando el riesgo de mayores deformaciones por cambios volumétricos, plásticos, etc...
- El uso del PET en el concreto produce unas caídas de revenimiento y falta de cohesión lo que obligan a mayor consumo de agua cemento.
- En la actualidad el costo del PET incrementa el costo del concreto hasta un 44.61% del costo de un concreto convencional.
- Mientras más PET se utilice para el diseño de mezclas, nos dará mayor resistencia a la flexión, pero la resistencia a la compresión será prácticamente nula, como se observa en las muestras 2 y 3.
- Estudios propuestas en futuras investigaciones:
 - Utilizar el PET en forma de fibras (filamentos delgados).
 - Utilizar algún aditivo que incremente la adherencia entre el PET y las pastas de cemento (posiblemente algunas a resinas he implicaría mas costo)

BIBLIOGRAFÍA

- Cemex concretos, Manual Del Constructor Cemex, México. 2006
- Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, PCA, 2004
- Luis Arnal Simon y Max Bentacourt Suarez, Normas Técnicas Complementarias de Concreto, del Reglamento de Construcción del Distrito Federal, Trillas, México, 2005.
- Norma ASTM International C 78-02. Método estándar para la resistencia a la flexión del concreto, E.E.U.U., 2002.
- Oscar de Buen López de Heredia. “Diseño de estructuras de acero”, flexión 2 pandeo lateral”. Fundación ICA A.C., México, 2001.
- Norma mexicana de Industria De La Construcción - Concreto Determinación De La Resistencia A La Flexión Usado Una Viga Simple Con Carga En el Centro Del Claro, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial NMX-C-303-1986, México, 1996.
- Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. P Panarese, y Jussana Tanesi “PCA Diseño Y Control De Mezclas De Concreto”. PCA Portland Cement Association
- Marco Aurelio Torres H. Concreto diseño plástico teoría elástica, Ed. Patria.
- <http://www.lemona.biz/EL%20CEMENTO-1/historia%20del%20CEMENTO.pdf>
- <http://html.rincondelvago.com/el-plastico-y-su-historia.html>,
- Norma Mexicana de concreto, Revenimiento. (NMX-C-156-1997-ONNCCE), (NMX-C-162-ONNCCE-2000)
- Norma Mexicana de concreto, Masa Unitaria (NMX-C-162-ONNCCE-2000), moldes(NMX-C-281-1985)
- Norma Mexicana de concreto, Contenido de aire (NMX-C-157-1987), (NMX-C-158-1987), (NMX-C-162-ONNCCE-2000)
- Norma Mexicana de concreto, Resistencia a la compresión (NMX-C-083-ONNCCE-2002), cabeceo (NMX-C-109-ONNCCE-2004), (NMX-C-219-1984), (NMX-C-159-ONNCCE-2004)



- Norma Mexicana de concreto, Prueba a la flexión (NMX-C-191-ONNCCE-2004), (NMX-C-303-1986)
- Norma Mexicana de concreto, Prueba a la tensión. (NMX-C-163-1997-ONNCCE)
- Norma Mexicana de concreto, Tamaño Máximo de Agregado (NMX-C-111-ONNCCE-2004.)
- Norma Mexicana de concreto, Módulo de Finura (NMX-C-111-ONNCCE-2004)
- Norma Mexicana de concreto, Peso Volumétrico Seco Compactado de la grava (NMX-C-073-ONNCCE-2004)
- Norma Mexicana de concreto, % Absorción grava (NMX-C-164-ONNCCE-2002)
- Norma Mexicana de concreto, % Absorción arena (NMX-C-165-ONNCCE-2002)
- Norma Mexicana de concreto, % de humedad arena (NMX-C-166-1990)
- Norma Mexicana de concreto, % de humedad grava (NMX-C-166-1990)